

პაატა ბარბაქაძე

წევის გაანგარიშების  
ანალიზური მეთოდის სრულყოფა

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის  
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, 0175, საქართველო  
აპრილი 2012

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობა

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავცანით პაატა ბარბაქაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: „წვევის გაანგარიშების ანალიზური მეთოდის სრულყოფა“ და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი -----

ხელმძღვანელი: სერგო კარიპიდისი

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

რეცენზენტი:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2012 წელი

ავტორი: პაატა ბარბაქაძე  
დასახელება: „წევის გაანგარიშების ანალიზური  
მეთოდის სრულყოფა“  
ფაკულტეტი : სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობა  
ხარისხი: დოქტორი  
სხდომა ჩატარდა: -----

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ  
ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის  
შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების  
უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც  
მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან  
სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი  
ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო  
უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა  
ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ  
მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია  
სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს  
პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

წვეის გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს მოძრაობის არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება. რადგან მოძრაობის განტოლებები არაწრფივია და დღემდე მსგავსი განტოლებების ამოხსნა შეუძლებელია ისეთი ფორმით, როგორც ეს ხდება წრფივი დიფერენციალური განტოლებების შემთხვევაში, ბევრი სპეციალისტი მიმართავდა და დღესაც მიმართავს ყველა ტიპის მიახლოებით (ასიმპტოტურ) მეთოდებს. გარდა ამისა სხვადასხვა შეზღუდვების გამო, როგორცაა ჩაჭიდება, წვეის ძრავის ველის შესუსტება და ა.შ. რეზულტირებული წვეის მახასიათებელის ნაწილს ხდის ტეხილს და არაწრფივი ფორმის მქონეს, რაც, დამატებით პრობლემებს ქმნის ამოცანის გადაწყვეტისას. ამ მიზეზით, სამწუხაროდ, დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების ძირითად მეთოდს წარმოადგენს გრაფო-ანალიზური (საანგარიშო-გრაფიკული) მეთოდები. სასწავლო ლიტერატურაში კი აღწერილია ეს მეთოდები, როგორც ერთადერთი და უაღტერნატივო.

XXI საუკუნეში, როცა კომპიუტერული ტექნიკა მკვიდრდება ადამიანის მოღვაწეობის ყველა სფეროში, აუცილებელია აქცენტი გაკეთდეს ახალ მეთოდებზე თანამედროვე ე.გ.მ.-ის გამოყენებით. გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენებით მოძრაობის განტოლების, როგორც ანალიზური, ისე რიცხვითი მეთოდით ამოხსნისას რთულდება მოსამზადებელი სამუშაოს ჩატარების გამო, განსაკუთრებით ბიჯის შერჩევისას, ეს გამოწვეულია იმით, რომ რკინიგზის გრძივი პროფილის მონაცემები მოიცავს მანძილის მონაკვეთებს  $s$  – სიგრძით 100, 150, 200, 250მ–ს, რომლის ფარგლებშიც იცვლება როგორც ქანობი, ისე მოსახვევების რადიუსები და რკალის სიგრძეები. და ამის რეალური ასახვა პროგრამაში პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგან პროგრამირების დროს უნდა შემოვიღოთ ცვალებადი ბიჯი, რომლის დასაწყისის და ბოლოს ფიქსირება პრაქტიკულად შეუძლებელია ამის გარდა, მთლიანი ინფორმაცია უბნებზე, მოძრავ შემადგენლობაზე გაივლის წინასწარ დამუშავებას და ორგანიზდება შესაბამისი ბიბლიოთეკებით, რომელიც ინახება მანქანის გარე მეხსიერებაში. ამასთან აუცილებელია ე.გ.მ.-ის მიერ მოხდეს პროფილის დამუშავება და საანგარიშო ქანობის არჩევა, მატარებლის მასის და წონის განსაზღვრა, შემადგენლობაზე მოქმედი ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების განსაზღვრა და მათი მახასიათებელი მრუდების აგება. ყოველივე ეს განეკუთვნება განეკუთვნება მოსამზადებელ სამუშაოს, რის საფუძველზეც გაანგარიშების შედეგად უნდა მივიღოთ შემდეგი რეზულტატები: სვლის და დამუხრუჭების დრო გადასარბენზე, ენერგიის ხარჯის სიდიდე, ელექტრომავლის მოძრაობის რეჟიმების მიხედვით, გამომთვლელმა მანქანამ ცალკე წარმოადგინოს გრაფიკები  $v = v(s)$ ;  $t = (s)$ .

აღსანიშნავია, რომ არსებული ცნობილი გზით ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების აპროქსიმაცია ვერ უზრუნველყოფს რეალური მრუდების ზუსტ ცვლილებას ან ინტეგრირების შემდეგ საბოლოოდ მივიღვართ რთულ გამოსახულებამდე, რომელიც უვარგისია გამოთვლითი პროცესების ჩასატარებლად, მათ შორის ე.გ.მ.-ის გამოყენებით,

რადგან საჭიროებს რთული მონაცემთა ბაზის ორგანიზებას. დიდი რაოდენობით ცვლადების არსებობას მონაცემთა ბაზის ბიბლიოთეკაში და საჭირო დროს ამ ცვლადების ურთიერთკავშირის განხორციელება რთული და რიგ შემთხვევაში შეუძლებელიცაა კვალიფიციური პროგრამისტის გარეშე. არსებული ანალიზური გამოსახულებები არ არიან უნივერსალური ხასიათის და ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების განმსაზღვრელი ფორმულები ას წელზე მეტია მოცემულია ხვედრით ერთეულებში (კგ/ტ). არსებული მეთოდებით ე.გ.მ-ზე პროგრამირების დროს საჭიროა შესაბამისი გადაწყვენი კოეფიციენტების მოძიება, რომლებიც გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მიერ რეკომენდებულია ცხრილის სახით, რაც დამატებით პრობლემებს ქმნის პროგრამირების პროცესში. ამის გამო დღეს გაცილებით მარტივია ანალიზური მეთოდების ნაცვლად გამოყენებული იქნას გრაფო-ანალიზური ან წმინდა გრაფიკული მეთოდები, რომლებიც სიზუსტით საკმარისია პრაქტიკული ანგარიშებისათვის და რეკომენდებულია წვევის გაანგარიშების საწარმოებლად ჯერ კიდევ სსრკ –ს გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მიერ.

სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილი ახალი ანალიზური მეთოდი, რომელიც ემყარება ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების აპროქსიმაციას წილად-წრფივი ფუნქციით, იძლევა საშუალებას მარტივად მივიღოთ მარტივი გამოსახულებები, რომლებიც იქნება უნივერსალური ხასიათის, ვარგისი ნებისმიერი სამუშაოს შესასრულებლად როგორც კომპიუტერის, ასევე „კალკულატორების“ მეშვეობითაც, რომელსაც გააჩნია ელემენტარული ფუნქციები.

ანგარიშებში ფარდობითი ერთეულების გამოყენება იძლევა საშუალებას მინიმუმამდე შევამციროთ განტოლებაში ცვლადების რაოდენობა და მოსალოდნელი შეცდომების აღბათობა, რადგან ყოველი ცვლადის ადგილი განტოლებაში, როგორც წესი, ცნობილია. ამოხსნის შედეგი უნივერსალური ხასიათისაა და საშუალებას იძლევა ჩვენთვის საჭირო ერთეულებში მივიღოთ საჭირო მონაცემები და ინფორმაცია ყოველგვარი გეომეტრიული მანიპულაციების ჩატარების და დამდლელი და რთული ანალიზის გარეშე.

დისერტაციაში დამუშავებულია და პრაქტიკულად რეალიზებულია სრულიად ახალი წვევის გაანგარიშების ჩატარების პროცედურა თანამედროვე ე.გ.მ-ზე პროგრამა "Mathcad 14"-ში Excel 2007 –ის ელემენტების გამოყენებით. კომპიუტერული ტექნიკის დახმარებით წვევის გაანგარიშების ჩატარება საშუალებას იძლევა საბოლოოთ ვთქვათ უარი სპეციალური შაბლონების გამოყენებაზე და წვევის გაანგარიშების ტრადიციული წესით ე.წ. “მიღმეტროვკაზე” შესრულებაზე. ამასთან იზოგება სამუშაოს ჩატარებისათვის საჭირო დროის მნიშვნელობა, ხოლო ანგარიშის სიზუსტე საკმარისია პრაქტიკული გაანგარიშების საწარმოებლად. კომპიუტერზე წვევის გაანგარიშების ამოცანების გადაწყვეტა საშუალებას იძლევა დამუშავებული სახით მოვიღოთ ყველა საჭირო ინფორმაცია და არარის აუცილებელი განვახორციელოთ შრომატევადი და დამქანცველი გეომეტრიული მანიპულაციებით მიღებული მრუდების დამატებითი ანალიზი. აუცილებელია აღინიშნოს ის გარემოება, რომ კომპიუტერზე ამოცანის გადაწყვეტაც არ არის ერთი შეხედვით მარტი საქმე, თუმცა პროგრამა

“Mathcad 14”-ის დახვეწილი და შედარებით მარტივი “interface” და გამოთვლების თვალსაჩინოდ წარმოების უნარი ამარტივებს პროგრამირების პროცესს და აღნიშნული თავისებურება გამოარჩევს მას ყველა დანარჩენი მსგავსი Matlab, Derive, Maple V, Mathematica, Vissin და ა.შ. ანალოგიური პროგრამისაგან.

სადისერტაციო ნაშრომში შეთავაზებული ანალიზური მეთოდით მოღებული შედეგები პრაქტიკულად შემოწმდა ზუსტი გრაფო-ანალიზური მეთოდით რამაც აჩვენა მიღებული შედეგების კარგი დამთხვევა.

## **A b s t r a c t**

Integration of nonlinear differential equation of motion is a basis of electric traction calculation. Since equations of motion are nonlinear and even today solution of similar equations is not possible by the form that is capable in case of linear differential equations, a lot of specialists turned to and turns at this moment to approach (asymptotic) methods of all types. Besides, because of various limitations, as well as of weakening of traction force field and so on part of resulting traction indices becomes kinked and has nonlinear form, that creates additional problems during solution of the problem (task). Because of this, unfortunately graph-analytical (calculation-analytical) methods represent main methods of integration of differential equation. These methods are described in scientific literature as the only and single source. In the XXI century when computer equipment penetrates in all spheres of human's activity, it is necessary to lay an emphasis on new methods with use of modern computers. It should be noted that approximation of current known accelerating and decelerating forces can't provide exact change of real curves and after integration we finally get complex expression, which is useless for carrying out of calculation processes, including the ones with the use of computer, since it requires availability of database massive in large quantities, implementation of interrelation of which will be complicated and in some cases impossible without qualified skilled programmer. Current analytic expressions are not of all-purpose (universal) character and formulas determining accelerating and decelerating forces for more than hundred years are given in specific units (kgf/t). According to current methods during programming on computer is necessary to find out corresponding conversion coefficients, that are recommended by Ministry of Railways (Soviet Union) in the tabular form, that create additional problems in the process of programming. Because of this fact at this moment is more simple to use graph-analytical or pure graphical methods instead of analytic ones, that by their accuracy are sufficient for practical calculations and are recommended for calculation of electric traction by Ministry of Railways.

New analytic methods cited in the thesis work, which are based on the approximation of accelerating and decelerating forces by fractionally linear function, allow us to easily receive simple expressions, which will be of universal character and useful for implementation of any works, both by means of computer, and of "calculator", that has got elementary functions.

Use of relative units allow to reduce to the minimum the number of variables in the equation and probability of probable errors, since the place of every variable in the equation is well known as a rule. Result of solution is of universal character and allows to get necessary data in the units necessary for us without any geometric manipulation and without carrying out of labour-consuming analysis on the scaled paper.

## შინაარსი

შესავალი . . . . .	14
1. ლიტერატურული მიმოხილვა . . . . .	19
1.1 მატარებლის მოძრაობის განტოლების ამოხსნის ძირითადი მეთოდები . . . . .	19
1.2 მბრუნავი ნაწილების ინერციის კოეფიციენტის განსაზღვრა .	23
1.3 მოძრაობის განტოლების გარდაქმნა პრაქტიკული გაანგარი- შებისათვის . . . . .	24
1.4 მოძრაობის განტოლების გამოყენება მატარებლის მოძრაობის ძირითადი რეჟიმების ანალიზისათვის . . . . .	26
1.5 მოძრაობის მრუდების გაანგარიშების საერთო პრინციპები მოძრაობის განტოლების ინტეგრირება . . . . .	28
1.6 მოძრაობის მრუდების გაანგარიშებისა და აგების მეთოდები .	33
1.7 მოძრაობის მრუდების აგება საანგარიშო-გრაფიკული ანუ გრაფო-ანალიზური მეთოდით . . . . .	34
1.8 ზოგიერთი ცნობა მოძრაობის მრუდების გრაფიკული მეთოდით გაანგარიშებისათვის . . . . .	36
1.9 მატარებლის მოძრაობის განტოლების ინტეგრირების რიცხვითი მეთოდი . . . . .	48
2. შედეგები და მათი ბანსჰა . . . . .	52
2.1 წვეის გაანგარიშებისათვის საჭირო მოსამზადებელი სამუშაოს ჩატარების სტრუქტურა . . . . .	52
2.1.1 პროფილის გასწორება . . . . .	52
2.1.2 შემადგენლობის მასისა და წონის განსაზღვრა . . . . .	54
2.1.3 სამუხრუჭო ანგარიში, ძირითადი ცნობები და ამოსავალი მონაცემები . . . . .	58
2.1.4 სამუხრუჭო ამოცანის ტიპები . . . . .	62
2.1.5 სიჩქარის უდიდესი დასაშვები მნიშვნელობის განსაზღვრა .	63
2.1.6 სამუხრუჭო კოეფიციენტის განსაზღვრა . . . . .	66
2.1.7 სამუხრუჭო ანგარიშის მიახლოებითი ანალიზური მეთოდი.	66
2.2 დენის მრუდების აგება . . . . .	69
2.2.1 ელმავლის დენის მანძილზე დამოკიდებულების $I_y(s)$ მრუდის აგების მეთოდი . . . . .	71
2.2.2 ელმავლის დენის დროზე დამოკიდებულების $I_y(t)$ მრუდის აგების მეთოდი . . . . .	71
2.3 ელექტრული ენერგიის ხარჯის განსაზღვრა . . . . .	72
2.4 წვეის ძრავის შემოწმება გახურებაზე . . . . .	74



2.5	წვევის გაანგარიშების შეთავაზებული მეთოდი . . . . .	77
2.5.1	სამუხრუჭო რეჟიმის გაანგარიშება . . . . .	84
2.5.2	გორვის რეჟიმი . . . . .	87
2.5.3	აღნიშნული მეთოდის გამოყენება წვევის გაანგარიშების აბსოლუტურ ერთეულებში ჩატარების შემთხვევაში . . . . .	90
2.5.4	ელ. ენერგიის ხარჯის განსაზღვრა შეთავაზებული მეთოდის დროს . . . . .	109
2.6	წვევის გაანგარიშების შემოთავაზებული მეთოდით პრაქტიკული ანგარიშის ჩატარება ე.გ.მ-ის გამოყენებით . . . . .	110
2.6.1	ელ.წვევის მოსამზადებელი სამუშაოს შესრულების მეთოდიკა ე.გ.მ-ზე . . . . .	112
2.6.2	ქანობის ელემენტების დამუშავება და საანგარიშო ქანობის არჩევა ე.გ.მ-ზე . . . . .	116
2.6.3	მატარებლის წონის განსაზღვრა ე.გ.მ-ის გამოყენებით . . . .	119
2.6.4	ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების გაანგარიშება და აპროქსიმაცია წილად-წრფივი ფუნქციით . . . . .	126
2.6.5	მოძრაობის მრუდების გაანგარიშება და აგება ე.გ.მ-ის გამოყენებით .	132
3.	დასკვნა . . . . .	150
	გამოყენებული ლიტერატურა . . . . .	152

## ცხრილების ნუსხა

ცხრილი 1. წვევის გაანგარიშების სპეციფიკური ფორმის ცხრილი	36
ცხრილი 2. წ.გ.წ.-ს მიერ რეკომენდებული მასშტაბები მოძრაობის მრუდების გრაფიკული მეთოდით გაანგარიშებისათვის	48
ცხრილი 3. სამუხრუჭო მოწყობილობების მიერ შექმნილი სამუხრუჭო ძალის $a_k$ შენელების არჩევა . . . . .	59
ცხრილი 4. წვევა . . . . .	83
ცხრილი 5. დამუხრუჭება . . . . .	87
ცხრილი 6. გორვა . . . . .	89
ცხრილი 7. რკინიგზის უბნის პროფილი . . . . .	91
ცხრილი 8. ამაჩქარებელი $f-W_0$ ძალის ანგარიში ე.მ.შ.-ს $Q=4860$ ტ.-ს წონის დროს . . . . .	95
ცხრილი 9. შემანელებელი $V(b_{\text{მა}}+W_0)$ ; $V(b_{\text{მა}}+W_0)$ და თავისუფალი გორვის $V(W_0)$ მრუდების ასაგებად საჭირო ანგარიში ე.მ.შ. -ის $Q = 4860$ ტ.-ს წონის დროს . . . . .	96
ცხრილი 10. ამაჩქარებელი ძალის მრუდის აპროქსიმაცია . . . . .	97
ცხრილი 11. შემანელებელი ძალების მრუდების აპროქსიმაცია . . . . .	98
ცხრილი 12. მოძრაობის რეჟიმების მიხედვით დროის სეგმენტის $\Delta t$ (წმ.) და გზის სეგმენტის $\Delta S$ (მ) მნიშვნელობების განსაზღვრა . . . . .	101
ცხრილი 13. წვევის რეჟიმის დროს მოხმარებული $A$ ელ. ენერგიის ხარჯის განსაზღვრა გრაფიკული სახით მიღებული $I_p(t)$ და $V(s)$ მრუდების გამოყენებით . . . . .	110

## ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. მატარებელზე მოქმედი ხვედრითი ამჩქარებელი ძალის გრაფიკი	31
ნახ. 2. ხვედრითი თანაბარმოქმედი შემანელებელი ძალების მრუდების გრაფიკი. . . . .	33
ნახ. 3. სიჩქარის მანძილზე დამოკიდებულების $v = f(s)$ მრუდის აგების მეთოდთა გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით	38
ნახ. 4. გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდის დროს $m_v$ სიჩქარის და $m_s$ გზის მასშტაბების შერჩევის მეთოდიკა. . . . .	39
ნახ. 5. მოძრაობის მრუდების აგება გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით . . . . .	41
ნახ. 6. ქანობის ელემენტის ცვლილების შემთხვევაში გადასვლის საწყისი სიჩქარის განაზღვრა $K$ წერტილში. . . . .	43
ნახ. 7. გორვის და სამომსახურეო დამუხრუჭების მრუდების აგება პარალელური წრფეების მეშვეობით. . . . .	45
ნახ. 8. დროის $m_t$ მასშტაბის შერჩევის მეთოდიკა. . . . .	45
ნახ. 9. გზის პროფილის ცვლილების შემთხვევაში პოლუსური მანძილის ცვლილება მატარებლის მოძრაობის რეჟიმების გათვალისწინებით. . . . .	47
ნახ. 10. $V$ სიჩქარის უდიდესი დასაშვები მნიშვნელობის განსაზღვრა გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდის დროს . . . . .	64
ნახ. 11. ქანობის განსაზღვრულ ფარგლებში დამუხრუჭების დროს უდიდესი დასაშვები ( $V_{აკს.}$ ) სიჩქარის შეზღუდვა კონსტ- რუქციული ( $V_{კონს.}$ ) სიჩქარით. . . . .	65
ნახ. 12. სამუხრუჭო კოეფიციენტების განსაზღვრა სამუხრუჭო მან- ძილის მიხედვით. . . . .	67
ნახ. 13. სამუხრუჭო კოეფიციენტების განსაზღვრა $V_k$ სიჩქარის მიხედვით. . . . .	67
ნახ. 14. $V_k = f(S_k)$ ; დამუხრუჭების დაწყების სიჩქარის მნიშვნელო- ბის გრაფიკული დამოკიდებულება სამუხრუჭო მანძილზე	68
ნახ. 15. БЛ-10 ლოკომოტივის დენის მახასიათებელი . . . . .	70
ნახ. 16. ТЛ - 2К1 წვეის ძრავის საკომპენსაციო გრაგნილის თბური მახასიათებელი . . . . .	76
ნახ. 17. წვეის მახასიათებელი ფარდობით ერთეულებში და მისი აპროქსიმაციის სხვადასხვა ვარიანტი . . . . .	81
ნახ. 18. გრაფიკული და შეთავაზებული ანალიზური ფორმულებით მიღებული $x = f(Y)$ და $\tau = f(Y)$ მრუდები. . . . .	84
ნახ. 19. ემპირიულად და ანალიზურად მიღებული $Y = f(W^* + b^*)$ და $Y = f(W^*)$ შემანელებელი ძალის მრუდები. . . . .	85
ნახ. 20. $\tau$ და $x$ -ის $y$ -ზე დამოკიდებულების უნივერსალური მრუდები დამუხრუჭებისას და გორვის დროს . . . . .	88
ნახ. 21. AB გადასარბენზე გზის პროფილი. . . . .	90
ნახ. 22. $(f - W_0) = f(v)$ რეალური ამჩქარებელი ძალის მრუდი და მისი აპროქსიმაცია შეთავაზებული მეთოდით. . . . .	92

ნახ. 23.	$(b_0+W_0)=f(v)$ ; $W_0=f(v)$ შემანელებელი ძალების მრუდები და მათი აპროქსიმაცია შეთავაზებული მეთოდით . . . . .	93
ნახ. 24.	მატარებლის მოძრაობის $v(s)$ , $t(s)$ ასევე $I(s)$ , დამოკიდებულებები და $v(s)$ დამოკიდებულება მიღებული ანალიზური ფორმულები გამოყენებით. . . . .	108
ნახ. 25.	პროგრამა Mathcad-ში მონაცემების შეტანის ფორმა . . . . .	115
ნახ. 26.	გზის პროფილი და საანგარიშო ქანობის არჩევა . . . . .	118
ნახ. 27.	მატარებლის წონის განსაზღვრა საანგარიშო ანუ სახელმძღვანელო ქანობის მიხედვით . . . . .	120
ნახ. 28.	მატარებლის წონის განსაზღვრა ადგილიდან დაძვრის პირობით	121
ნახ. 29.	მატარებლის წონის შემოწმება სადგურის ღიანდაგებში ჩატევის პირობით . . . . .	123
ნახ. 30.	შემადგენლობის რეალური სიგრძის განსაზღვრა . . . . .	124
ნახ. 31.	შემაჯამებელი მატარებლის წონის განსაზღვრა . . . . .	125
ნახ. 32.	ამაჩქარებელი ძალის გაანგარიშება . . . . .	128
ნახ. 33.	რეალური ამაჩქარებელი ძალის მრუდის აპროქსიმაცია. .	129
ნახ. 34.	ხვედრითი შემანელებელი ძალების გაანგარიშება . . . . .	130
ნახ. 35.	შემანელებელი ძალების აპროქსიმაცია . . . . .	130
ნახ. 36.	შემანელებელი ძალების აპროქსიმაციის შედეგი . . . . .	131
ნახ. 37.	სამუხრუჭო მანძილის განსაზღვრა . . . . .	131
ნახ. 38.	გზის სეგმენტი $\Delta S$ -ის ანგარიში წვეის რეჟიმის დროს სიჩქარის სეგმენტის $\Delta V=1$ კმ/სთ ბიჯით . . . . .	134
ნახ. 39.	გზის სეგმენტი $\Delta S$ -ის ანგარიში სამოსამსახურეო დამუხრუჭების დროს სიჩქარის სეგმენტის $\Delta V=1$ კმ/სთ ბიჯით. . . .	135
ნახ. 40.	გზის სეგმენტი $\Delta S$ -ის ანგარიში ექსტრემალური დამუხრუჭების დროს სიჩქარის სეგმენტის $\Delta V=1$ კმ/სთ ბიჯით. . . . .	136
ნახ. 41.	გზის სეგმენტი $\Delta S$ -ის ანგარიში თავისუფალი გორვის დროს სიჩქარის სეგმენტის $\Delta V=1$ კმ/სთ ბიჯით . . . . .	137
ნახ. 42.	$\Delta t$ დროის სეგმენტის ანგარიში წვეის რეჟიმის დროს სიჩქარის სეგმენტის $\Delta V=1$ კმ/სთ ბიჯით . . . . .	138
ნახ. 43.	$\Delta t$ დროის სეგმენტის ანგარიში სამოსამსახურეო დამუხრუჭების დროს სიჩქარის სეგმენტის $\Delta V=1$ კმ/სთ ბიჯით . . .	139
ნახ. 44.	$\Delta t$ დროის სეგმენტის ანგარიში ექსტრემალური დამუხრუჭების დროს სიჩქარის სეგმენტის $\Delta V=1$ კმ/სთ ბიჯით. . . .	140
ნახ. 45.	$\Delta t$ დროის სეგმენტის ანგარიში თავისუფალი გორვის დროს სიჩქარის სეგმენტის $\Delta V=1$ კმ/სთ ბიჯით . . . . .	141
ნახ. 46.	$v(s)$ მრუდის აგება და მატარებლის მოძრაობის რეჟიმების მართვა ვირტუალური ღილაკების გამოყენებით . . . . .	146
ნახ. 47.	$v(s)$ მრუდის გამოყენებით მოძრაობის მახასიათებელი სიდიდეების მიღება და შედეგების ანალიზი . . . . .	146
ნახ. 48.	მატარებლის $t$ მოძრაობის დროის განსაზღვრა ( $\nabla t$ ) . . .	147
ნახ. 49.	БЛ-10 ლოკომოტივის დენის მახასიათებელი . . . . .	148

ნახ. 50. БЛ-10 ლოკომოტივის დენის გავლილ მანძილზე დამოკიდებულების I (S) მრუდი . . . . .	149
ნახ. 51. ე.გ.მ –ზე წევის გაანგარიშების წარმოების პროგრამული და ლოგიკური მოქმედებების ალგორითმის ბლოკსქემა . .	149

## შ ე ს ა ვ ა ლ ი

პირველი ორთქლის ლოკომოტივის შექმნა სრულიად არ იყო რევოლუციური მოვლენა, ის უფრო ევოლუციის შედეგი გახლდათ. ცნობილი შოტლანდიელი მეცნიერი ედიმბურგის და ლონდონის სამეფო საზოგადოების წევრი, ავტორიტეტული ინჟინერი და გამომგონებელი ჯეიმს ვატი (1736-1819წ.) მანამ, სანამ მის ორთქლის გაცივების მოწყობილობაზე პატენტი მოქმედებდა 1800წ.-მდე, წინააღმდეგი იყო ორთქლმავალი ლოკომოტივების და საერთოდ რკინიგზის განვითარებისა, რადგან ეს ტრანსპორტი მას მეტად სახიფათოდ მიაჩნდა. 1801წ. რიჩარდ ტრევიტიკის (1771-1833)წ. მიერ შეიქმნა პირველი ორთქლმავალი ლოკომოტივი, სამწუხაროდ არსებული ლიანდაგები არ იყო გათვლილი მის წონაზე, ლიანდაგის და საერთოდ სარელსო გზის ცვლილება მოითხოვდა სერიოზულ კაპიტალდაბანდებებს, რაც არ იყო ამ ეტაპზე ეკონომიკურად ხელსაყრელი, ამ გარემოებამ ხანგრძლივი ვადით დააყოვნა ორთქლმავლების განვითარების პროცესი. მომდევნო პერიოდში ორთქლმავალი ლოკომოტივის სრულყოფაზე ბევრი მეცნიერი, ინჟინერი და გამომგონებელი მუშაობდა, უდიდესი წვლილი კი ჯორჯ სტეფენსონმა (1781-1848წ.) შეიტანა, რომელმაც პირველმა მოახდინა 1825წ. სტოქტონ-დარლინგტონის რკინიგზის გახსნაზე საკუთარი კონსტრუქციის ორთქლმავალის დემონსტრირება.

როგორც მეცნიერების დარგს, წვეის გაანგარიშებას საფუძველი, ჯერ კიდევ 1813 წელს ჩაუყარა ინგლისელმა გამომგონებელმა უილიამ ჰედლიმ (1779-1843წ.) ორთქლის წვეის ჩასახვის საწყის ეტაპზე პირველ ორთქლმავლებს არ შეეძლოთ მნიშვნელოვანი წონის სავაგონო შემადგენლობის გადაადგილება, არაკვალიფიციურად შერჩეული წონის ორთქლმავლის შემადგენლობა ნაცვლად გადაადგილებისა ადგილზე ბუქსაობდა. მეცნიერთა შორის გავრცელდა აზრი, რომ გლუვი ზედაპირის თვალწვილით აღჭურვილ ორთქლმავალს არ შეეძლო მნიშვნელოვანი წონის შემადგენლობის გადაადგილება ტრადიციულ სალიანდაგო გზაზე. ჰედლიმ ნაცვლად უტოპიური და არაპერსპექტიური იდეებისა მიზნად დაისახა განესაზღვრა ორთქლმავლის წვეის ძალის მნიშვნელობა, რომლის განვითარებაც შესაძლებელი იქნებოდა გლუვი ზედაპირის მქონე სალიანდაგო გზაზე ყოველგვარი დამატებითი წვეის

მოწყობილობის და აღჭურვილობის გარეშე. ამ ფაქტმა საფუძველი ჩაუყარა წევის თეორიას, რომელიც თავის თავში მოიცავს მატარებლის მექანიკური მოძრაობის თეორიას და ლოკომოტივების მუშაობას. თეორიული ნაწილი აღნიშნული მეცნიერებისა ეფუძნება ფიზიკურ პრინციპებს, ხოლო პრაქტიკული ნაწილი მოძრაობის შემადგენლობის ექსპლუატაციას, მის გამოცდას და მიღებული შედეგების გავრცელებას.

1835წ., როცა მსოფლიოში ჯერ კიდევ მხოლოდ დაიწვეს ორთქლმავლის წევის გამოყენებით რკინიგზის განვითარება, ცნობილმა რუსმა მეცნიერმა შემდგომში პეტერბურგი-მოსკოვის რკინიგზის მშენებელმა პ. მელნიკოვმა გამოაქვეყნა ნაშრომი, რომელიც მოიცავდა სარკინიგზო ტრანსპორტის რიგ მნიშვნელოვან თეორიულ საკითხს, მათ შორის, პირველად აღწერილი იქნა ორთქლმავალზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა. უმნიშვნელოვანესი წვლილი წევის თეორიის განვითარებაში შეიტანა პეტერბურგის გზათა მიმოსვლის ინსტიტუტის პროფესორმა პ.ი. სობკომ. მან თავის ლექციებში მიმოიხილა სახელმძღვანელო ქანობი, მრუდების უმცირესი რადიუსები და დაყოფის პუნქტების განლაგების შესაძლებლობა, ის სთავაზობდა პროფილის პროექტირება მომხდარიყო ისეთი ფორმით, რომ დადმართს მოყოლოდა აღმართი, რის შედეგადაც ჭარბი სიჩქარე, რომელსაც განავითარებდა შემადგენლობა დადმართზე მოძრაობისას, დაიხარჯებოდა აღმართის გადალახვაზე, ანუ მოხდებოდა მატარებლის კინეტიკური ენერგიის გამოყენება აღმართის გადალახვაზე, ამ ერთიშეხედვით პრიმიტიულმა ფაქტებმა საფუძველი ჩაუყარა წევის თეორიას და მისცა იმპულსე ამ დარგის განვითარებას. თანამედროვე პირობებში წევის თეორია როგორც მეცნიერება ინტენსიურად ვითარდება რკინიგზის განვითარებასთან ერთად, თუმცა მიუხედავად ამისა დღემდე არ არსებობს ერთიანი სტანდარტი და მიდგომა მატარებელზე მოქმედი ძალების განზომილების ერთეულების საკითხებში, რაც გარკვეულ პრობლემებს ქმნის გაანგარიშების პროცესში.

ასეთი სახესხვაობა და ერთიანი სტანდარტის არარსებობა წევის თეორიაში დიდ დისკომფორტს ქმნის ანგარიშების დროს, განსაკუთრებით მიღებული შედეგების გაანალიზების პროცესში. [1;2]

ანალიზური მეთოდით ანგარიშის ჩატარება კალკულატორებზე მოითხოვს დიდ დროს და მიღებული შედეგების ვიზუალიზაციის არარსებობის გამო მიზანშეწონილია გრაფიკული ან გრაფო-ანალიზური მეთოდებით ანგარიშების ჩატარება, რაც ასევე შრომატევადი და დამღლელი პროცესია, იგი ასევე მოითხოვს სპეციალური მასშტაბების არჩევას წვეის გაანგარიშების წესებიდან (წ.გ.წ.). თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერების გამოყენება აღნიშნული ამოცანის გადასაწყვეტად საჭიროებს სპეციალური პროგრამის შექმნას, მონაცემთა ბაზაში ურიცხვი ბიბლიოთეკით, რომელთა ურთიერთკავშირის მოძიება საჭირო პროცესების აღსაწერად მოითხოვს პროფესიონალურ ცოდნას პროგრამირების სფეროში. ამის გარდა არსებული გამოსახულებების გამოყენება აბსოლუტურ ერთეულებში ზრდის შეცდომების ალბათობას პროგრამირების დროს. ცნობილია ფაქტები, როცა განზომილებებიანი სიდიდეების არასწორად გამოყენების და გადამყვანი კოეფიციენტების უზუსტობის გამო მოწინავე დარგებში და კერძოდ კოსმონავტიკაში ავარიის მიზეზიც კი გამხდარა. ასე მაგალითად, ცნობილია NASA და რუსეთის კოსმოსური სააგენტოს ერთობლივი პროექტი “Mars Polar Lander” -ის მისია (1999წ.) სწორედ გადამყვანი კოეფიციენტების უზუსტობის და პროგრამული ხარვეზების გამო კრახით დასრულდა.

წვეის გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს მოძრაობის არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება. რადგან მოძრაობის განტოლებები არაწრფივია და დღემდე მსგავსი განტოლებების ამოხსნა შეუძლებელია ისეთი ფორმით, როგორც ეს ხდება წრფივი დიფერენციალური განტოლებების შემთხვევაში, ბევრი სპეციალისტი მიმართავდა და დღესაც მიმართავს ყველა ტიპის მიახლოებით (ასიმპტოტურ) მეთოდებს. გარდა ამისა სხვადასხვა შეზღუდვების გამო, როგორიცაა ჩაჭიდება, წვეის ძრავის ველის შესუსტება და ა.შ. რეზულტირებული წვეის მახასიათებელის ნაწილს დამატებით ხდის არაწრფივი ფორმის მქონეს, რაც დამატებით პრობლემებს ქმნის ამოცანის გადაწყვეტისას. ამ მიზეზით, სამწუხაროდ, დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების ძირითად მეთოდს წარმოადგენს გრაფო-



ანალიზური (საანგარიშო-გრაფიკული) მეთოდები. ელ. წევის თეორიის შემსწავლელ ლიტერატურაში აღწერილია ეს მეთოდები როგორც ერთადერთი და უაღტერნატივო.

XXI საუკუნეში, როცა კომპიუტერული ტექნიკა მკვიდრდება ადამიანის მოღვაწეობის ყველა სფეროში, აუცილებელია აქცენტი გაკეთდეს ახალ მეთოდებზე თანამედროვე ე.გ.მ.-ის გამოყენებით. აღსანიშნავია, რომ ცნობილი გზით ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალის აპროქსიმაცია ვერ უზრუნველყოფს რეალური მრუდის ზუსტ ცვლილებას და თანაც ინტეგრირების შედეგად საბოლოოდ მივდივართ რთულ გამოსახულებებამდე, რომელიც უვარგისია გამოთვლითი პროცესის ჩასატარებლად, მათ შორის ე.გ.მ.-ის გამოყენებით, რთული მონაცემთა ბაზის გამო. დიდი რაოდენობის ცვლადების არსებობა მონაცემთა ბაზის ბიბლიოთეკაში და ამ ცვლადების საჭირო დროს სწორი ურთიერთკავშირის მოძიება ფაქტიურად შეუძლებელია კვალიფიციური პროგრამისტის გარეშე. დღეს არსებული ანალიზური გამოსახულებები არ არიან უნივერსალური ხასიათის მქონენი და ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების ფორმულები ას წელზე მეტია მოცემულია ხვედრით ერთეულებში (კგძ/ტ). არსებული მეთოდებით გაანგარიშების წარმოება ე.გ.მ.-ზე საჭიროებს სპეციალური გადამყვანი კოეფიციენტების მოძიებას, რომელიც დღემდე სსრკ-ის გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მიერ რეკომენდებულია ცხრილის სახით, რაც ასევე ერთგვარ პრობლემას ქმნის პროგრამირების პროცესში. ამ მიზეზთა გამო გაცილებით ადვილია ანალიზური მეთოდების ნაცვლად გრაფო-ანალიზური ან სუფთა გრაფიკული მეთოდებით ანგარიშების ჩატარება, რომლებიც სიზუსტით საკმარისია პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის.

აღნიშნულიდან გამომდინარე არსებული პრობლემის გადაწყვეტა და მარტივი და ზუსტი აპროქსიმაციის გზით მიღებული ანალიზური გამოსახულებების გამოყენება პრაქტიკულ ანგარიშებში ე.გ.მ.-ის გამოყენებით მეტად აქტუალურ მეცნიერულ პრობლემას წარმოადგენს.

სამუშაოს მიზანია ახალი ანალიზური მეთოდის სიზუსტის შემოწმება და მისი მეშვეობით წევის გაანგარიშების ჩატარება ე.გ.მ. – ზე რაც სამომავლოდ საშუალებას მოგვცემს წევის ანგარიშები

ტრადიციული “მილიმეტროვების” ნაცვლად მარტივად, საკმარისი სიზუსტით ვაწარმოთ თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერების გამოყენებით.

მითითებული მიზნის მისაღწევად უნდა იქნას გადაჭრილი შემდეგი ძირითადი ამოცანები:

- შესწავლილ იქნას მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების ყველა ცნობილი მეთოდი.
- გაანალიზებულ იქნას ცნობილი მეცნიერების მიდგომა ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების მრუდების აპროქსიმაციის საკითხებში.
- დამუშავებულ იქნას წილად-წრფივი ფუნქციით ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების აპროქსიმაცია.
- აბსოლუტური ერთეულების ნაცვლად ფარდობითი ერთეულების გამოყენების მეთოდიკა მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ანალიზურად გადაწყვეტისას.
- პრაქტიკულად რეალიზებულ იქნას თანამედროვე ე.გ.მ.-ის გამოყენებით მოძრაობის მრუდების აგების პროცესი.

კვლევის ობიექტი დაფუძნებულია მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირებაზე ანალიზური სახით, ისეთი ფორმით, რომ ის მოსახერხებელი იყოს საკმარისი სიზუსტით მარტივად ვაწარმოთ გაანგარიშებები თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერის გამოყენებით.

# 1. ლიტერატურული მიმოხილვა

## 1.1 მატარებლის მოძრაობის განტოლების ამოხსნის ძირითადი მეთოდები

მატარებლის მოძრაობა სარელსო გზაზე აღიწერება  $v=f(s)$ ;  $v=f(t)$ ;  $t=f(s)$  დამოკიდებულებებით. ეს დამოკიდებულებები იგება მატარებლის ძირითადი სასარგებლო მოძრაობისათვის, რომელიც ყოველთვის დაკავშირებულია თვალწვილის, წვეის ძრავის ღუზის და მექანიზმების მბრუნავი ნაწილების ბრუნვასთან. სასარგებლო გადაადგილების გარდა მატარებელზე მოქმედებს სხვადასხვა პარაზიტული რხევები, რომლებიც იწვევს აღმგზნების ძალები, რომლებიც წარმოიქმნება მატარებლის თვალწვილის გავლისას უსწორმასწორო გზაზე და ასევე მატარებლის გარემოსთან ურთიერთქმედების შედეგად. [3]

მატარებლის განვლილი მანძილი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც  $S_c$  და  $S_N$  ჯამი, სადაც  $S_c$  საწყისი კოორდინატიდან გავლილი მანძილია მატარებლის მასათა ცენტრამდე,  $S_N$  მანძილია  $C$  -დან  $N$  - ვაგონამდე.

$$S = S_c + S_N \quad (1)$$

(1) დროით მეორე წარმოებულის აღებით მივიღებთ:

$$\frac{d^2 S}{dt^2} = \frac{d^2 S_c}{dt^2} + \frac{d^2 S_N}{dt^2} \quad (2)$$

ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ მატარებლის სიმძიმის ცენტრის მოძრაობას, ხოლო პარაზიტული რხევები და მათ მიერ გამოწვეული აჩქარებები, რომელიც განისაზღვრება (2)-ს მეორე წევრის ტოლობით განხილულია დაწვრილებით „ე.მ.შ. კონსტრუქცია და დინამიკაში.“

ძალები, რომლებიც განსაზღვრავენ მატარებლის მოძრაობის ხასიათს, თავისი ფიზიკური ბუნებით საკმაოდ განსხვავებულია. ისინი შეიძლება დავეყნოთ მოძრაობისას მემანქანის მიერ ან ავტომატური რეგულირების მოწყობილობის (წვეის ძალა და სამუხრუჭო ძალა) მიერ მართვად და უმართავ (სიმძიმის ძალა, სხვადასხვა მატარებლის მოძრაობის საწინააღმდეგო ძალები) ძალებად.

იმისდა მიხედვით, როგორი ძალები მოქმედებენ მატარებელზე, განასხვავებენ მათ მოძრაობის რეჟიმებს. ძირითად მათგანს წარმოადგენს წევა ანუ დენის მოხმარებით გამოწვეული მატარებლის მოძრაობა, გორვა ანუ ინერციით მოძრაობა და დამუხრუჭება.

დენის მოხმარებით მოძრაობისას წევის ძრავები წარმოქმნის წევის ძალას, რომელიც უზრუნველყოფს მატარებლის გადაადგილებას. სამუხრუჭო რეჟიმის დროს მატარებელზე მოქმედებს ხელოვნურად შექმნილი და მოძრაობის საწინააღმდეგოდ მიმართული სამუხრუჭო ძალა. ის თავის მიმართულებით ემთხვევა ხახუნის ძალას, აღმართის შედეგად და ა.შ. გამოწვეულ ძალებს. გორვის დროს წევის ძრავები გამორთულია და მატარებელი მოძრაობს ინერციით წინააღმდეგობის, მათ შორის სიმძიმის ძალით გამოწვეული ძალების მოქმედებით. მატარებლის მოძრაობა მთლიანად განისაზღვრება ნებისმიერი სამიდან ორი დამოკიდებულებით:  $v=f(s)$ ;  $v=f(t)$ ;  $t=f(s)$  იმდენად, რამდენადაც მესამე შეიძლება ადვილად მივიღოთ დანარჩენი ორიდან საერთო დამოუკიდებელი ცვლადის გამორიცხვით. ამ დამოკიდებულების გრაფიკულ გამოსახულებებს მატარებლის მოძრაობის მრუდები ეწოდებათ. ელექტრული წევისას მათ ემატებათ დენის მრუდი ან სიმძლავრის მანძილზე ან დროზე დამოკიდებულობის ფუნქცია.

მატარებლის მოძრაობის განტოლება დიფერენციალური სახით აღწერს კავშირს  $v$  სიჩქარეს,  $t$  დროს და  $s$  გავლილ მანძილს შორის, რაც საშუალებას იძლევა გავიანგარიშოდ და ავაგოთ მატარებლის მოძრაობის მრუდები.

მატარებლის მოძრაობის განტოლების გამოყვანისას და მოძრაობის მრუდების გაანგარიშების დროს ჩვეულებრივ მატარებლის საბოლოო სიგრძისას თვლიან, რომ ფიზიკური მატარებლის მასა  $m_{\text{ფ}}$  თავმოყრილია მატარებლის სიმძიმის ცენტრში. [1;3]

წარმოვიდგინოთ, რომ მატარებელზე მოქმედებს  $F_{\text{ხგ}}$  ძალა, რომელიც წარმოადგენს ყველა ძალის თანაბარ მოქმედ ძალას, რომლებიც მოქმედებენ მატარებლის მოძრაობის წევის ან სამუხრუჭო ძალის საწინააღმდეგოდ. გაანგარიშებისათვის აუცილებელი მოძრაობის მრუდების აგებისათვის, საჭირო მატარებლის აჩქარება ამ  $F_{\text{ხგ}}$  ძალის მოქმედებითაა გამოწვეული. ვისარგებლოთ ეილერის ფორმულით (ამ

ფორმულას ხშირად ნიუტონის II კანონსაც უწოდებენ, მაგრამ იმ შესწორებით, რომ მატარებლის ზოგიერთ ნაწილს გააჩნია გადაადგილების მოძრაობასთან ერთად ბრუნვითი მოძრაობაც.)

თუ  $J$  – მბრუნავი ნაწილების ინერციის მომენტი;  $w$  – მისი კუთხური სიჩქარე;  $R_{\omega}$  – თვალწვილის ბრუნვის რადიუსია, რომლის მეშვეობითაც მბრუნავი ნაწილი დაკავშირებულია ამძრავთან;  $\mu$  – ამძრავის გადაცემათა რიცხვია;  $v$  – მატარებლის გადაადგილების სიჩქარე, მაშინ თვალწვილის ღერძთან მოყვანილი მომენტი, რომელიც საჭიროა მბრუნავი ნაწილების ინერციის გადალახვაზე ტოლია:

$$\mu J \frac{d \omega}{dt}$$

ან გავითვალისწინებთ, რა

$$\omega = \frac{\mu v}{R_k} \quad \text{და} \quad \frac{d \omega}{dt} = \frac{\mu}{R_k} \frac{dv}{dt}$$

$$\mu J \frac{d \omega}{dt} = J \frac{\mu^2}{R_k} \frac{dv}{dt}$$

$F'_0$  ძალა, რომელიც აუცილებელია მოვდოთ თვალს, რათა მბრუნავ ნაწილებს მივცეთ შესაბამისი კუთხური სიჩქარე, განისაზღვრება მომენტთა ტოლობიდან.

$$F'_0 R_{\omega} = J \frac{\mu^2}{R_k} \frac{dv}{dt}$$

საიდანაც

$$F'_i = J \frac{\mu^2}{R_k^2} \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

თავად თვალწვილისათვის (3) გამოსახულებაში  $\mu=1$  სრული  $F_0$  ძალა, რომელიც მოყვანილია თვალწვილზე, რომელიც აუცილებელია მატარებლის ყველა მბრუნავი ნაწილის ინერციის გადასალახვად, შეიძლება ვიპოვოთ (3) გამოსახულებით ყველა მბრუნავი ნაწილის გათვალისწინებით ვწერთ:

$$F_o = \sum \frac{J_o}{R_o^2} \frac{dv}{dt} + \sum \frac{J_a}{R_a^2} \frac{dv}{dt} + \frac{J_g \mu^2}{R_g^2} \frac{dv}{dt} =$$

$$= \left( \sum \frac{J_o}{R_o^2} + \sum \frac{J_a}{R_a^2} + \sum \frac{J_g \mu^2}{R_g^2} \right) \frac{dv}{dt} = m_a \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

სადაც  $J_o$  და  $R_o$  ინერციის მომენტი და მბრუნავი თვალწვევილის რადიუსია.

$J_a$  და  $R_a$  – ინერციის მომენტი და არაამძრავი თვლის რადიუსია.

$J_g$  – წვევის ძრავის ინერციის მომენტია

$$\sum \frac{J_o}{R_o^2} + \sum \frac{J_a}{R_a^2} + \sum \frac{J_g \mu^2}{R_g^2} = m_a \quad (5)$$

$m_g$  – იწოდება მბრუნავი ნაწილების ეკვივალენტურ მასად.

რადგან  $F_o$  ძალა შეიძლება წარმოიქმნას მხოლოდ  $F_{bg}$  თანაბარ-მოქმედი ძალის ხარჯზე, ეილერის ფორმულის თანახმად:

$$m_g \frac{dv}{dt} + F_o = F_{bg}$$

ან  $F_o$ -ის ჩასმით (4) გამოსახულებაში

$$(m_g + m_a) \frac{dv}{dt} = F_{bg} \quad (6)$$

$m_g + m_a = m$ , ამას მატარებლის მოყვანილი მასა ჰქვია. ჩვეულებრივ  $m$  წარმოდგება როგორც

$$m = m_g \left( 1 + \frac{m_a}{m_g} \right) = m_g (1 + \gamma) \quad (7)$$

$$\text{სადაც } \gamma = \frac{m_a}{m_g}$$

$(1 + \gamma)$  უგანზომილებო კოეფიციენტს ეწოდება მბრუნავი ნაწილების ინერციის კოეფიციენტი. [4]

(6) გამოსახულებაში  $m$  მოყვანილი მასის ჩასმით (7) თანახმად მივიღებთ მატარებლის მოძრაობის განტოლების პირველ ფორმას.

$$M_g(1 + \gamma) \frac{dv}{dt} = F_{bg} \quad (8)$$

(8) დიფერენციალური სახით იძლევა კავშირს თანაბარ მოქმედ მატარებელზე მოდებულ ძალას, მოყვანილ მასას და ამ ძალების მოქმედებით გამოწვეულ აჩქარებას შორის.

გავითვალისწინებთ რა  $v = \frac{ds}{dt}$  და  $dt$ , შევცვლით  $\frac{ds}{v}$ , მივიღებთ მოძრაობის განტოლებას მეორე ფორმით:

$$m_0(1+\gamma)v \frac{dv}{dt} = F_{\text{ზ}} \quad (9)$$

## 1.2 მბრუნავი ნაწილების ინერციის კოეფიციენტის განსაზღვრა

$(1+\gamma)$  კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის მოსახერხებელია ვისარგებლოთ (5) გამოსახულების მცირედ შეცვლილი მბრუნავი ნაწილების ეკვივალენტური მასის ვარიანტით.  $J$  ნებისმიერი მბრუნავი ნაწილის ინერციის მომენტი შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$J = m \rho^2$$

სადაც  $m$  – მბრუნავი ნაწილების მასაა;

$\rho$  – მისი ინერციის რადიუსი.

მაშინ

$$M_j = m_0 \gamma = \sum m_{\sigma} \frac{\rho_{\sigma}^2}{R_{\sigma}^2} + \sum m_{\alpha} \frac{\rho_{\alpha}^2}{R_{\alpha}^2} + \sum m_{\omega} \frac{\mu^2 \rho_{\omega}^2}{R_{\omega}^2} \quad (10)$$

ამ გამოსახულებაში სხვადასხვა მბრუნავი ნაწილებისათვის მოყვანილია იგივე ინდექსები, როგორც (4) განტოლებაში.

(10) მასების შეცვლით მათი შესაბამისი წონებით. ამისათვის (10) გამოსახულების ორივე მხარე გავამრავლოთ  $g$  სიმძიმის ძალის აჩქარებაზე და ავღნიშნოთ  $G$  – მატარებლის საერთო წონას მივიღებთ:

$$G \gamma = \sum G_{\sigma} \frac{\rho_{\sigma}^2}{R_{\sigma}^2} + \sum G_{\alpha} \frac{\rho_{\alpha}^2}{R_{\alpha}^2} + \sum G_{\omega} \frac{\mu^2 \rho_{\omega}^2}{R_{\omega}^2} \quad (11)$$

მატარებლის მბრუნავ ნაწილებს აქვთ ცილინდრული ან მასთან მიახლოებული ფორმა, რის შედეგადაც  $\rho$  ინერციის რადიუსის დამოკიდებულება  $R$  გარე რადიუსთან საკმარისად სტაბილურია ამიტომ  $\gamma$  გაანგარიშება  $\rho$  და  $R$ -ის შემდეგი პრაქტიკული მონაცემების მიხედვით. [3].

ამდრავი და მიმყოლი ვაგონების თვალწყვილებისათვის

$$\rho = (1,75 \div 0,8) R$$

წვეის ძრავის ღუზებისათვის

$$\rho = (0,65 \div 0,75) R$$

დიდი კბილანა თვლებისათვის

$$\rho \approx 0,8 R$$

$(1+\gamma)$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა სხვადასხვა ტიპის ელექტრო-  
მაველებისათვის იცვლება  $1,2 \div 1,4$  ფარგლებში; დატვირთული სატვირთო  
ვაგონებისათვის  $1,08 \div 1,09$ ; თუ მატარებელი შედგება სხვადასხვა ტიპის  
ვაგონებისაგან, მაგ: ელმავალი, სამგზავრო, სატვირთო ვაგონები და ა.შ.  
 $(1+\gamma)$  მოლიანობაში მატარებლისათვის განისაზღვრება როგორც  
საშუალოდ შეწონილი:

$$(1+\gamma) = \frac{\sum G_i(1+\gamma_i)}{\sum G_i} = 1 + \frac{\sum G_i\gamma_i}{\sum G_i} \quad (12)$$

სადაც  $G_i$  – მატარებლის თითოეული ნაწილის წონაა, რომელიც შედგე-  
ბა ერთი ტიპის მოძრავი შემადგენლობისაგან, რომელსაც გააჩნია  $(1+\gamma)$   
ინერციის კოეფიციენტი.

### 1.3 მოძრაობის განტოლების გარდაქმნა პრაქტიკული განგარიშებისათვის

ანგარიშის დროს მოძრაობის პირობიდან გამომდინარე სარგებლო-  
ბენ სიდიდეების სხვადასხვა ერთეულებში გაზომვით. მაგალითად გზას  
ზომავენ მეტრებში ან კილომეტრებში; დროს – წუთებში ან წამებში,  
ზოგ შემთხვევაში საათებში, ძალებს ყველაზე ხშირად ზომავენ კილო-  
გრამ-ძალებში; მატარებლის წონას ტონებში. მატარებლის  $m$  მასას,  
როგორც წესი, გამოსახავენ, როგორც მის წონას  $G$ . საერთაშორისო  
ერთეულთა (SI) სისტემაში, მიღებულია სიგრძის ერთეულად (მ); დროის  
(წმ); მასის (კგ); ძალის საზომად გამოიყენება ნიუტონი (ნ), რომელიც  
1კგ მასის მქონე სხეულს  $1\text{მ/წმ}^2$  აჩქარებას ანიჭებს.



სხვადასხვა ერთეულების გამოყენება მატარებლის მოძრაობის განტოლებაში მოითხოვს შესაბამისი გადაყვანი კოეფიციენტების შეყვანას. (8) და (9) განტოლების მარჯვენა ნაწილში მათი შეყვანით და სათანადო აღნიშვნებით (8) და (9) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$G \frac{dM}{dt} = \zeta F \quad (13)$$

$$G \frac{dM}{dt} = \zeta' F \quad (14)$$

$\zeta$  მნიშვნელობა მაგალითისათვის სიჩქარის ცვლილებისას კმ/სთ-ში, დროის წთ-ში მოქმედი ძალების კგ-ში  $G$  წონის მატარებლის დროს, მისი  $m$  მასა ტოლია

$$M_g = \frac{1000G}{g} = \frac{1000}{9,81} G [\text{კგ} \cdot \text{წმ}^2/\text{მ}]$$

სადაც  $g = 9,81 \text{ მ/წმ}^2$  – სიმძიმის ძალის აჩქარებაა.

იმისათვის, რომ მივიღოთ ძალა კგ-ში, როცა მასა იცვლება კგ.წმ<sup>2</sup> (კილოგრამ მასა),  $\frac{dv}{dt}$  აუცილებელია განვსაზღვროთ მ/წმ<sup>2</sup>. ამიტომ სიჩქარე აუცილებელია გადავიყვანოთ კმ/სთ-დან მ/წმ-ში, ხოლო დრო, წთ-დან წმ-ში,  $1 \text{ კმ/სთ} \rightarrow \frac{1000}{3600} = \frac{1}{3,6} \text{ მ/წმ}$ , ხოლო  $1 \text{ წთ} = 60 \text{ წმ}$  გავითვალისწინებთ რა ამ დამოკიდებულებას, (8) გამოსახულებაში ჩასმისას ვიპოვიოთ:

$$G \frac{dv}{dt} = \frac{9,81 \cdot 3,6 \cdot 60}{1000(1+\gamma)} F_{b_3} = \frac{2,16}{(1+\gamma)} F_{b_3}.$$

შესაბამისად

$$\zeta = \frac{2,12}{(1+\gamma)} \quad \text{და} \quad \sigma = \frac{1}{\zeta} = 0,472(1+\gamma)$$

როგორც ეს ჩანს მიღებული ტოლობიდან (13) და (14), შემდგომი გამარტივებისათვის მათი მარჯვენა და მარცხენა ნაწილები გავეყოთ  $G$  მატარებლის წონაზე.

$$\frac{dv}{dt} = \zeta f_{b_3}. \quad (15)$$

$$v \frac{ds}{dt} = \zeta' f_{\text{ვ}}. \quad (16)$$

სადაც  $f_{\text{ვ}} = \frac{F_{\text{ვ}}}{G}$  ხვედრითი თანაბარმოქმედი ძალაა კგძ/ტ; ასეთი ხვედრითი სახით ორივე ფორმულა ყველაზე ხშირად გამოიყენება მატარებლის მოძრაობის მრუდების ასაგებად.

$\zeta$  კოეფიციენტი (15) გამოსახულებაში რიცხობრივად შესაბამის ერთეულებში მატარებლის აჩქარების ტოლია, რომელზედაც მოდებულია თანაბარმოქმედი  $f_{\text{ვ}}$  ძალა კგძ/ტ. ასე მაგალითად: თუ მატარებლის წონა იზომება ტ-ში, სიჩქარე კმ/სთ-ში, დრო-წმ-ში და  $\gamma$  ტოლია 0,06-ის, მაშინ:

$$\zeta = \frac{2,12}{1,06} = 2 \quad \text{კმ.ტ/სთ.კგ.წთ}$$

$$\frac{dv}{dt} = 2 f_{\text{ვ}} \quad \text{კმ/სთ.წთ}$$

მაშასადამე, 1 წთ-ის განმავლობაში სიჩქარე შეიცვლება  $2f_{\text{ვ}}$  კმ/სთ. თუ ძალა მოქმედებს მატარებლის მოძრაობის მიმართულებით სიჩქარე გაიზრდება; თუ მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით – შემცირდება.

#### 1.4 მოძრაობის განტოლების გამოყენება მატარებლის მოძრაობის ძირითადი რეჟიმების ანალიზისათვის

ელმავლის  $F$  წვეის ძალისათვის დადებით მიმართულებად მიღებულია მატარებლის მოძრაობის მიმართულება.  $W$  და  $B$  თანაბარმოქმედი მოძრაობის წინააღმდეგობის ძალებისათვის მატარებლის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება. [5;6]

მოძრაობის წინააღმდეგობის  $W$  ძალას უმეტეს შემთხვევაში აქვს მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულება, მიუხედავად ამისა, პირობის თანახმად აქვს დადებითი ნიშანი, მხოლოდ საკმაოდ ციცაბო დაღმართებზე  $W$  შეიძლება გახდეს უარყოფითი სიდიდე და მოქმედებდეს მოძრაობის მიმართულებით.

რაობის მიმართულებით. ამიტომ  $W$ -ს ქვეშ უნდა გავიგოთ მატარებლის მოძრაობის წინააღმდეგობის აღგებრული მნიშვნელობა. ეს სრული ძალები, როგორც წესი, იზომება კგ-ებში.

წვეის დროს მატარებელზე მოქმედებს  $F_{\Sigma} = F - W$  ძალა, ამიტომ მატარებლის მოძრაობის განტოლებას (13)-ს ექნება შემდეგი სახე.

$$G \frac{dv}{dt} = \zeta(F - W) \quad (17)$$

ან ხვედრითი ფორმით:

$$\frac{dv}{dt} = \zeta(f - \omega) \quad (18)$$

სადაც  $f = \frac{F}{G}$  - ხვედრითი წვეის ძალაა.

$\omega = \frac{W}{G}$  - მოძრაობის ხვედრითი წინააღმდეგობაა.

მატარებლის სიჩქარე იზრდება, თუ  $F - W > 0$ , რადგან ამ დროს  $\frac{dv}{dt} > 0$ , თუ  $F - W < 0$ , მაშინ  $\frac{dv}{dt} < 0$  და მატარებლის სიჩქარე მცირდება, როგორც ეს მაგალითად მატარებლის ციცაბო აღმართზე მოძრაობის დროს ხდება, როცა მოძრაობის წინააღმდეგობა  $W$  ხდება  $F$  წვეის ძალაზე მეტი.

მატარებლის თანაბარი მოძრაობისას მუდმივი დამყარებული სიჩქარით ადგილი ექნება, თუ  $F - W = 0$  ან  $F = W$ ; ვინაიდან და რადგანაც ამ დროს  $\frac{dv}{dt} = 0$ .

გორვის რეჟიმის დროს წვეის ძრავები გამორთულია, ამიტომ  $F = 0$  და  $F = -W$ , მოძრაობის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე:

$$G \frac{dv}{dt} = -\zeta W. \quad (19)$$

აღმართებზე, სწორ უბანზე  $W$ -ს აქვს დადებითი მიმართულება და  $\frac{dv}{dt} < 0$ , მაშასადამე მატარებლის სიჩქარე მცირდება.

$W$ -ს უარყოფითი მნიშვნელობისას, რომელსაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს საკმარისად ციცაბო დაღმართზე,  $\frac{dv}{dt} > 0$ , შესაბამისად მატარებ-

ლის სიჩქარე იზრდება. მატარებელს შეუძლია ასევე იაროს დამყარებული სიჩქარით, თუ  $W=0$ .

სამუხრუჭო რეჟიმის დროს  $F=0$ ,

$$F = - (B + W) \text{ და}$$

$$G \frac{dv}{dt} = -\zeta (B + W) \quad (20)$$

როგორც წესი,  $(B+W)$  ჯამური ძალა მიმართულია მატარებლის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. შესაბამისად, თუ  $(B+W) > 0$ , მაშინ  $\frac{dv}{dt} < 0$  და მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე დამუხრუჭებისას მცირდება.

მატარებლის მოძრაობისას ციცაბო დადმართზე  $W < 0$  და სამუხრუჭო ძალა  $B$  პატარაა, შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ  $(B+W) < 0$ . ამ დროს მატარებელი არ იმოძრაებს შენელებულად. კერძო შემთხვევაში შეიძლება სამუხრუჭო ძალა დავარეგულიროთ ისე, რომ  $(B+W) = 0$ . მაშინ მატარებლის სიჩქარე იქნება დადებითი  $\left(\frac{dv}{dt} = 0\right)$ . ამგვარი მოძრაობის რეჟიმი ხშირად გამოიყენება ქანობზე მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის შენარჩუნებისათვის.

მოყვანილი ანალიზიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ ყველა რეჟიმის დროს, თუ  $F_{\text{ბგ}}$  თანაბარმოქმედი ძალა ტოლია ნულის, მატარებლის მოძრაობას აქვს დამყარებული ხასიათი, მაშასადამე მატარებელი იმოძრაებს გარკვეული მუდმივი სიჩქარით. თუ  $F_{\text{ბგ}} \neq 0$ , ყოველთვის ადგილი ექნება არადამყარებულ მოძრაობის პროცესს. თანაბარმოქმედი ძალის დროს მატარებლის სიჩქარე იზრდება, ხოლო უარყოფითის დროს – მცირდება. [5]

## 1.5 მოძრაობის მრუდების გაანგარიშების საერთო პრინციპები

### მოძრაობის განტოლების ინტეგრირება

მატარებლის მოძრაობის მრუდების გაანგარიშება მოძრაობის განტოლების ინტეგრირებას ემყარება, რომელიც დიფერენციალური სახით იძლევა კავშირს  $v$  სიჩქარეს,  $t$  დროს, და  $s$  გავლილ მანძილს შორის.

$v(t)$ ,  $v(s)$ ,  $t(s)$  დამოკიდებულებების მისაღებად საჭიროა მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება (15) ან (16) ამოხსნა (ინტეგრირება). [7]

მათემატიკური თვალსაზრისით მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლება გარეგნულად მარტივი, პირველი ხარისხის დიფერენციალური განტოლებაა  $v$  და  $t$  ცვლადები. ასეთი განტოლებები ჩვეულებრივ ამოიხსნება ცვლადების განცალკევების მეთოდით და შემდგომში მარცხენა და მარჯვენა ნაწილის ცალ-ცალკე ინტეგრირებით. მაგრამ განტოლების მარჯვენა ნაწილი არ არის მუდმივი სიდიდე და მატარებელზე მოქმედი ძალები თვითონ არიან ცვლადების  $v$  და  $s$ -ის ფუნქციები. მოძრაობის დროს იცვლება გზის პროფილი და შესაბამისად მოძრაობის მიმართ წინააღმდეგობებიც, აქედან გამომდინარე მოძრაობის განტოლების ანალიზური სახით ინტეგრირება, განსაკუთრებული დაშვებების გარეშე პრაქტიკულად შეუძლებელია.

მატარებლის მოძრაობის განტოლების ინტეგრირება ცვალებადი სიჩქარის შემთხვევაში საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ დამოკიდებულება მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის  $v$ , მოძრაობის დროის  $t$  და განვლილ მანძილს  $s$ -ს შორის. [6;7]

დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის ცნობილი მეთოდები პირობითად შეიძლება დავეყთ სამ ჯგუფად: 1) ანალიზური მეთოდები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემს ამოვხსნათ დიფერენციალური განტოლება ანალიზური გამოსახულებების სახით; 2) გრაფიკული მეთოდები, რომელიც იძლევა მიახლოებით ამოხსნას გრაფიკული სახით; 3) რიცხვითი მეთოდები, რომლებიც იძლევა მიახლოებით ამოხსნას ცხრილის სახით. [6]

მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება ანალიზურად წარმოებს შემდეგი ფორმით:

(15) განტოლებაში ცვლადების გაყოფით მივიღებთ

$$dt = \frac{dv}{f_{b_3}} \quad (21)$$

სადაც  $f_{b_3}$  - ხვედრითი თანაბარმოქმედი ძალაა, კგძ/ტ.

ორივე მხარის ინტეგრირებით  $v_1$ -დან  $v_2$  სიჩქარის ფარგლებში, მივიღებთ ამ პროცესის შესაბამის დროს.

$$(t_2 - t_1) = \frac{1}{\zeta} \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{f_{b_3}} \quad (22)$$

გამოვიყენებთ რა (16)-ს, რომელიც წარმოადგენს მოძრაობის განტოლებას მეორე ფორმით, შეიძლება განვსაზღვროთ  $(s_2 - s_1)$  მანძილი, რომელსაც გადის მატარებელი როცა სიჩქარე იცვლება  $v_1$ -დან  $v_2$ -ს ფარგლებში.

$$ds = \frac{v dv}{\zeta' f_{b_3}} \quad (23)$$

$$\text{და } (s_2 - s_1) = \frac{1}{\zeta'} \int_{v_1}^{v_2} \frac{v dv}{f_{b_3}} \quad (24)$$

ამ დროს ხვედრითი თანაბარმოქმედი ძალა წვევის რეჟიმის დროს:

$$f_{b_3} = f_0 - i = f - \omega_0 - i \quad [\text{კგძ/ტ}]$$

გორვისას

$$f_{b_3} = -(\omega_{0x} + i) \quad [\text{კგძ/ტ}]$$

ელექტრული დამუხრუჭების დროს:

$$f_{b_3} = -(b_{o_3} + i) = -(b_3 + \omega_0 + i) \quad [\text{კგძ/ტ}]$$

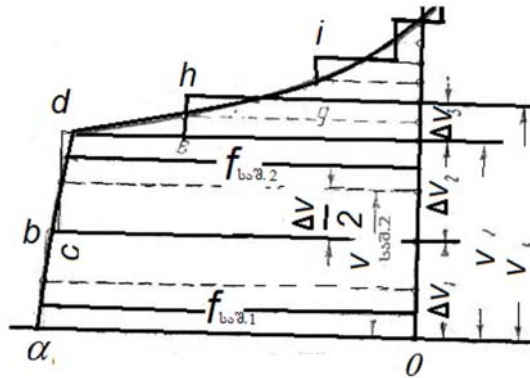
მექანიკური დამუხრუჭებისას:

$$f_{b_3} = -(b_0 + i) = -(b + \omega_{0_3} + i) \quad [\text{კგძ/ტ}]$$

(22) და (24) განტოლებების ინტეგრირების გამოთვლებისათვის უნდა ვიცოდეთ  $f_{b_3} = f(v)$

სხვაგვარად რომ ვთქვათ, წინასწარ აუცილებელია გვქონდეს ამჩქარებელი ძალების მახასიათებელი წვევის რეჟიმის დროს, გორვისას მოძრაობის წინააღმდეგობა, შემანელებელი ძალები სამუხრუჭო რეჟიმში და ასევე გზის პროფილი. ყველაფერთან ერთად დამატებით აუცილებელია დავადგინოთ სიჩქარის შეზღუდვები გზის სხვადასხვა უბანზე, მატარებლის მოძრაობის უსაფრთხოების პირობის დასაცავად, რომელიც გათვალისწინებულია რკინიგზის ტექნიკური ექსპლუატაციის წესებით, რომლის თანახმად საჭიროა სიჩქარე შეიზღუდოს ციცაბო

დაღმართებზე, მრუდებში, საისრო გადაყვანებზე და ა. შ. მატარებლის მოძრაობისას.



ნახ. 1. მატარებელზე მოქმედი ხვედრითი ამხეჩარებელი ძალის გრაფიკი

თანაბარმოქმედი ძალების სიხეჩარეზე დამოკიდებულებას ჩვეულებრივ წარმოადგენენ გრაფიკული მრუდების სახით.

ნახ. 1. მათთვის შეიძლება შეგვეჩიხა მეტნაკლებად მიახლოებული ანალიზური განტოლება და მათი გამოყენებით უშუალოდ მოგვეხდინა პირველი ან მეორე ფორმით მოცემული მოძრაობის განტოლების ინტეგრირება. შედეგების უფრო მაღალი სიზუსტე მიიღება, თუ  $f_{\text{ხვ.}} = f(v)$ -ს ცალკეული მიმდევრობითი უბნებისათვის შევარჩევთ ანალიზურ გამოსახულებებს.

თუმცა შედარებით მარტივი ანალიზური დამოკიდებულებების დროსაც, კი ინტეგრირებას მიეყვართ უფრო რთულ და გამოთვლებისათვის მოუხერხებელ ფორმულებამდე.

ნაწილობითი აპროქსიმაცია უფრო მეტად ზრდის გამოთვლების სირთულეს, ამიტომ მატარებლის მოძრაობის განტოლების ანალიზური ინტეგრირება გამოიყენება მხოლოდ იშვიათ შემთხვევებში, ძირითადად თეორიული გამოკვლევებისათვის. [6;8]

პრაქტიკულად მოძრაობის განტოლების ინტეგრირებას ახდენენ საბოლოო გარდაქმნების მეთოდით, რომელსაც იყენებენ  $f_{\text{ხვ.}} = f(v)$ -ს ნებისმიერი ფორმისას და რომელიც თეორიულად იძლევა მიახლოების

ნებისმიერ ხარისხს. ამ მეთოდის დროს სიჩქარის  $\Delta v = v_2 - v_1$  დიდ ინტერვალში ცვლილებებისას  $f_{\text{ვ}}$  თანაბარმოქმედ ძალებს თვლიან მუდმივად და მათი მნიშვნელობების საშუალოდ ამ ინტერვალში  $f_{\text{ვ.საშ.}}$  მაშინ (22) და (24)-ის მარჯვენა ნაწილები ადვილად ინტეგრირდება და მიიღება შემდეგი გამოსახულებები:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{v_2 - v_1}{\zeta' f_{\text{ვ.საშ.}}} = \frac{\Delta v}{\zeta' f_{\text{ვ.საშ.}}} \quad (25)$$

და

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2\zeta' f_{\text{ვ.საშ.}}}$$

ან გავითვალისწინებთ, რომ  $\frac{v_2 - v_1}{2} = v_{\text{საშ.}}$   $\Delta v$  ინტერვალში

$$\Delta s = \frac{v_{\text{საშ.}} \Delta v}{\zeta' f_{\text{ვ. საშ.}}} \quad (26)$$

$\Delta s$ -ის სხვა ფორმულა შეიძლება მივიღოთ (26)-ში  $\frac{\Delta v}{f_{\text{ვ.საშ.}}}$ -ის შევცვლით  $\zeta \Delta t$ -თი (25) საფუძველზე

$$\Delta s = \frac{\tau}{\zeta'} v_{\text{საშ.}} \Delta t = \frac{1}{\zeta''} v_{\text{საშ.}} \Delta t \quad (27)$$

სადაც

$$\frac{\zeta'}{\zeta} = \zeta''$$

$f_{\text{საშ.}}$  თანაბარმოქმედი ძალის მნიშვნელობა  $f_{\text{ვ}} = f(v)$ -ის მონოტონური ცვლილებებისას  $v$  სიჩქარის მცირედი გარდაქმნისას დაახლოებით განსაზღვრავენ მას  $v$  საშუალო სიჩქარით მოცემულ ინტერვალში (ნახ. 1.)

ამგვარად, საბოლოო გარდაქმნების მეთოდის დროს მოცემული თანაბარმოქმედი ძალის მრუდი  $f_{\text{ვ}} = f(v)$  გარდაიქმნება გარკვეულ საფუხურებლივ წრფედ (ნახ. 1). მოყვანილია ასეთი ტრანსფორმაციის მაგალითი ამაჩქარებელი ძალებისა წვევის რეჟიმის დროს. თანაბარმოქმედი  $f_{\text{ვ}}$  ძალის აგებისათვის ყოველი  $\Delta v$  ინტერვალის ფარგლებში რეალური მატარებლის მოძრაობა იცვლება თანაბარ-აჩქარებულით. ამიტომ  $v=f(t)$  საანგარიშო მრუდი იქნება შედგენილი, რიგი სწორი



მონაკვეთებისაგან, ხოლო მრუდი  $v=f(s)$  – რიგი პარაბოლის მონაკვეთებისაგან.

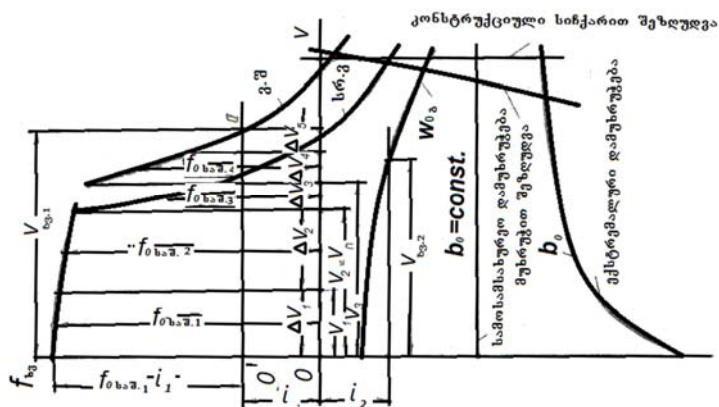
$\Delta v$  ინტერვალის დიდი შემცირებით საფეხურებრივი ძალები უახლოვდება რეალურ მრუდს, ხოლო მოძრაობის საანგარიშო მრუდები – რეალურს, მაშასადამე ამ დროს სიზუსტე საბოლოო გარდაქმნებისა მატულობს.

## 1.6 მოძრაობის მრუდების გაანგარიშებისა და აგების მეთოდი

განსხვავებენ მოძრაობის მრუდების გაანგარიშების ანალიზურ ინტეგრირების და რიცხობრივი ინტეგრირების მეთოდებს, რომლებიც ეფუძნება მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების მიახლოებით ინტეგრირებას. [9]

ანალიზური ინტეგრირების მეთოდი თავის მხრივ იყოფა  $f_{\text{ხვ}}=f(v)$  დამოკიდებულების სხვადასხვაგვარი აპროქსიმაციის და მიხედვით (წრფივი, პარაბოლისებური და ა.შ.).

იმ ჯგუფში, რომელიც ეფუძნება საბოლოო გარდაქმნების მეთოდებს შედიან საანგარიშო-გრაფიკული და სუფთა ანალიზური მეთოდები, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება  $\Delta t$  და  $\Delta s$ -ის მიღების ხერხებით.



ნახ. 2. ხვედრითი თანაბარმოქმედი შემანელებელი ძალების მრუდების გრაფიკი

საანგარიშო-გრაფიკული მეთოდის დროს გრაფიკულად წარმოდგენილ  $f = f(v)$  დამოკიდებულებას ყოფენ  $\Delta v$  ინტერვალებად. ამ ინტერვალებში საშუალო სიჩქარეების პოვნით განსაზღვრავენ თანაბარ მოქმედ ძალებს. შესაბამისი ფორმულებით  $\Delta t$  და  $\Delta s$  მიღებული მნიშვნელობებით აგებენ მოძრაობის მრუდებს. გრაფიკული მეთოდი განსხვავდება ზემოთ მოყვანილი მეთოდისაგან იმით, რომ  $\Delta t$  და  $\Delta s$  ანგარიშით კი არ პოულობენ, არამედ პოულობენ გეომეტრიული მანიპულაციებით, რომლებსაც ახორციელებენ შესაბამის მასშტაბებში. ამ მეთოდების მრავალი სახესხვაობა არსებობს.

### 1.7 მოძრაობის მრუდების აგება საანგარიშო-გრაფიკული ანუ გრაფო-ანალიზური მეთოდით

მოძრაობის მრუდების ელემენტებს საანგარიშო-გრაფიკული მეთოდით პოულობენ წერტილების მიხედვით, რომელთა კოორდინატებიც განისაზღვრება  $\Delta t$  და  $\Delta s$ -ის გამოთვლით, რომლებსაც იღებენ  $\Delta v$  ინტერვალში.  $\Delta t$  გაანგარიშება წარმოებს – (25) ფორმულის, ხოლო  $\Delta s$  გაანგარიშება ხდება (27) ფორმულის მეშვეობით.  $F_{\text{ხვ.საშ}}$  – მნიშვნელობებს ითვლიან ხვედრითი თანაბარმოქმედი ძალების  $f_{\text{ხვ.ი}} = f(v)$  მრუდის მიხედვით, რომლებიც გათვლილია ( $i = 0$ ) ქანობზე მატარებლის მოძრაობისას. ამ დროს ამაჩქარებელი ან შემანელებელი ხვედრითი ძალა განისაზღვრება შემდეგი სხვაობით. (იხ. ნახ. 2)

$$f_{\text{ხვ.საშ.}} = f_{\text{ხვ.საშ.}} - i \quad [\text{კგძ/ტ}] \quad (28)$$

სადაც  $i$  – ქანობის აღგებრული მნიშვნელობაა (აღმართისათვის დადებითია, დაღმართის შემთხვევაში უარყოფითი.)

$f_{\text{ხვ.0საშ.}} - \Delta v$  ინტერვალში პასუხობს  $\mu_{\text{საშ}}$  – მნიშვნელობას. მიღებული ნიშნებით  $f_{\text{ხვ.ი}}$  წვეის რეჟიმისათვის უნდა ჩავთვალოთ დადებითად, ხოლო გორვის და დამუხრუჭების რეჟიმის დროს უარყოფითად.

გაანგარიშება მოსახერხებელია გაწარმოთ შემდეგი წესით:

ნახ. 2. წარმოდგენილ დიაგრამაზე, რომელზედაც გამოსახულია ხვედრითი თანაბარმოქმედი ძალები, სწორი კორიზონტალური გზისათვის  $f_0 = f(v)$  წვეის რეჟიმისას;  $\omega_0 = f(v)$  წვეის ძრავების ჩართულ მდგომარეობაში მოძრაობის ძირითადი წინააღმდეგობისათვის  $b_0 = f(v)$  მექანიკური დამუხრუჭებისა და დამუხრუჭებისას სიჩქარის შეზღუდვით ხვედრითი შემანელებელი ძალისათვის. აღნიშნულთათვის მოინიშნება  $v_1, v_2, v_3, v_4, \dots$  და ა. შ. სიჩქარეები და შერჩეული სიჩქარის შეზღუდვების  $\Delta v$  ინტერვალები. რომლებიც მრუდის ნაწილების ფორმიდან გამომდინარე შეიძლება იყოს არაერთგვაროვნად შერჩეული ანუ  $\Delta v$ -ს სიდიდე შესაძლოა ერთმანეთისაგან განსხვავდებოდეს. მიზანშეწონილია თანაბარმოქმედი ძალების მრუდების გარდატეხის წერტილები შეირჩეს, როგორც  $\Delta v$ -ს საზღვრები, ეს ზრდის გაანგარიშების სიზუსტეს და საშუალებას იძლევა  $f_{\Sigma, \text{საშ.}}$  მოიძებნოს  $V_{\text{საშ.}}$  სიჩქარის მეშვეობით. [1;6;7]

წვეის რეჟიმის დროს მუდმივი დენის შემთხვევაში ძრავების გაშვების პერიოდს ყოფენ ინტერვალებად, რომლის საზღვრებსაც წარმოადგენს, ძრავების ერთი დაჯგუფებიდან მეორეზე გადასვლის მომენტები, რაც მოსახერხებელია დენის მრუდის აგებისათვის და ენერგიის ხარჯის განსაზღვრისათვის.  $v_1, v_2, v_3, v_4, \dots$  და  $\Delta v_1, \Delta v_2, \Delta v_3$  – შეაქვთ სპეციალურ ცხრილში 1 და გრაფაში 2

ამ ცხრილს გააჩნია სპეციფიკური ფორმა, რომლის მიხედვითაც პრაქტიკულად მიმდინარეობს მთელი გაანგარიშებები.

$V_{\text{საშ.}}$  საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობები გამოითვლება მე-3 გრაფაში, ხოლო მისი შესაბამისი მოქმედი ძალა  $f_{\Sigma, \text{საშ.}}$  შეაქვთ მე-4 გრაფაში. მე-5 და მე-7 გრაფები განკუთვნილია  $\Delta t$  და  $\Delta s$ -სათვის, ხოლო ათვლის დაწყებიდან საერთო დროის  $t = \Delta t$  განსაზღვრისათვის განკუთვნილია მე-6 გრაფა. ამ გრაფის ნებისმიერი სტრიქონის რიცხვითი მნიშვნელობა ტოლია აღნიშნულ სეგმში აღნიშნულ სტრიქონამდე არსებული ყოველი სტრიქონის ჯამისა და  $t_0$ -საწყისი დროის მნიშვნელობის მიმატებით.

გავლილ მანძილს განსაზღვრავენ, როგორც  $s = \sum \Delta s$  და შეყავთ მე-8 გრაფაში.  $v_0$  სიჩქარის,  $t_0$  დროის და  $s_0$  გზის საწყის მნიშვნელობებს წერენ 1, 6 და 8 გრაფაში ცხრილის პირველ სტრიქონში. თუ განიხილება გაჩერების შემდგომი მოძრაობა, ისინი იღებენ ნულის ტოლ მნიშვნელობას.

$v$ ,  $t$  და  $s$  მნიშვნელობებით (ცხრ. 1. 1, 6, 8 გრაფები) შეიძლება (წერტილებით) ავსოთ სამივე მრუდის დამოკიდებულება  $v=f(t)$ ,  $v=f(s)$  და  $s=f(t)$ .

აღნიშნული წესით ანგარიშობენ მრუდებს მატარებლის ყოველი რეჟიმისას ცალ-ცალკე.

ცხრილი 1.

წვეის გაანგარიშების სპეციფიკური ფორმის ცხრილი

$N$	$v$	$\Delta v$	$v_{საშ.}$	$f_{\text{ბგ.საშ.}} = f_{\text{ბგ.საშ.}} - 1$	$\Delta t = \frac{\Delta v}{f_{\text{ბგ.საშ.}}}$	$t = t_0 + \sum \Delta t$		$s = s_0 + \sum \Delta s$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	$v_0$	—	—	—	—	$t_0$	—	$s_0$
1	$v_1$	$\Delta v_1 = v_1 - v_0$	$v_{ch1} = v_0 + \frac{\Delta v_1}{2}$	$f_{\text{ბგ.საშ.1}}$	$\Delta t_1$	$t_1 = t_0 + \Delta t_1$	$\Delta s_1$	$s_1 = s_0 + \Delta s_1$
2	$v_2$	$\Delta v_2 = v_2 - v_1$	$v_{ch2} = v_0 + \frac{\Delta v_2}{2}$	$f_{\text{ბგ.საშ.1}}$	$\Delta t_2$	$t_2 = t_0 + \Delta t_1 + \Delta t_2$	$\Delta s_2$	$s_2 = s_0 + \Delta s_1 + \Delta s_2$
$n$	$v_n$	$\Delta v_b = v_n - v_n$	$v_{chn} = v_0 + \frac{\Delta v_n}{2}$	$f_{\text{ბგ.საშ.1}}$	$\Delta t_n$	$t_n = t_0 + \sum_1^n \Delta t$	$\Delta s_n$	$s_n = s_0 + \sum_1^n \Delta s$

### 1.8 ზოგიერთი ცნობა მოძრაობის მრუდების გრაფიკული მეთოდით გაანგარიშებისათვის

გრაფიკული ხერხით მოძრაობის მრუდების აგება, როგორც უკვე აღინიშნა თავისი არსით წარმოადგენს მოძრაობის განტოლების მიახლოებითი ინტეგრირების მეთოდს, საბოლოო გარდაქმნის მეთოდით იმდენად, რამდენადაც გზისა და დროის გარდაქმნა ხდება გეომეტრიულად, როგორც წესი მათ უკავშირებენ თავად მოძრაობის მრუდებს. ამით უზრუნველყოფილია თვალსაჩინოება და უმრავლეს შემთხვევაში შესაძლებელია მრუდების მექანიკური აგება, განსაკუთრებით სპეცია-

ლური შაბლონების გამოყენებით. ამიტომაც გრაფიკულმა მეთოდმა ფართო გამოყენება ჰპოვა პრაქტიკულ წევის გაანგარიშების პროცესში. [1;2;3;4;5;6;7;8]

როგორც წესი, პირველ რიგში, პროფილის ელემენტების თავისებურებების და მასზე მოძრაობის პირობების გათვალისწინებით აგებენ  $v = f(s)$ -ს და შემდგომ  $t = f(s)$  დამოკიდებულებას ან უფრო იშვიათად  $v = f(t)$ .

ყველაზე გავრცელებულია  $v = f(s)$  დამოკიდებულები გრაფიკული აგების ორი მეთოდი: ინჟინერ ა.ი. ლიპეცის, რომლის დროსაც, როგორც საანგარიშო-გრაფიკულ მეთოდში მიეწოდება გარდაქმნებით  $\Delta v$  და უნრეინის მეთოდი, რომელიც განსხვავდება იმით, რომ საკმაოდ მარტივი ხერხებით  $v = f(s)$  მრუდის აგებისას  $\Delta v$  და  $\Delta s$  პასუხობს  $\Delta t$  მუდმივი დროის ინტერვალს.

ა.ი. ლიპეცის მეთოდი, მისი შემდგომი აგებით  $v = f(s)$  მრუდის საფუძველზე დამოკიდებულება  $t = f(s)$  ინჟინერ გ. ლებედევის შეთავაზებით თავის დროზე იქნა რეკომენდებული გზათა მიმოსვლის სამინისტროს და დღეს ცნობილია როგორც მისი მეთოდი.

გრაფიკული ხერხით  $v=f(t)$  დამოკიდებულების აგება დაწვრილებით დამუშავებულია ბევრი სპეციალისტის მიერ (გ.ვ. ლებედევი, ი.ვ. ლომონოსოვის, ვ.ა. შევალინის და ა.შ.). თუმცა ისინი გამოიყენება პრაქტიკულად ძალიან იშვიათად, რადგანაც უმრავლეს შემთხვევაში მოუხერხებელია სირთულის გამო მრუდების ასაგებად და ამიტომ ბევრ ლიტერატურაში არ არის განხილული  $v = (t)$  მრუდის აგება აღნიშნული მეთოდებით.

$v = f(s)$  მრუდის აგება გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდის საშუალებით მოძრაობის  $v = f(s)$  მრუდის ასაგებად სიჩქარე მიეწოდება მიმდევრობითი ინტერვალებით  $\Delta v$ -თი და ამ ინტერვალების ფარგლებში ჩვეულებრივ თვლიან თანაბარმოქმედ ძალას  $f_{\text{ხვ.}}$  მუდმივად და  $\Delta v$  ინტერვალის საშუალოდ.

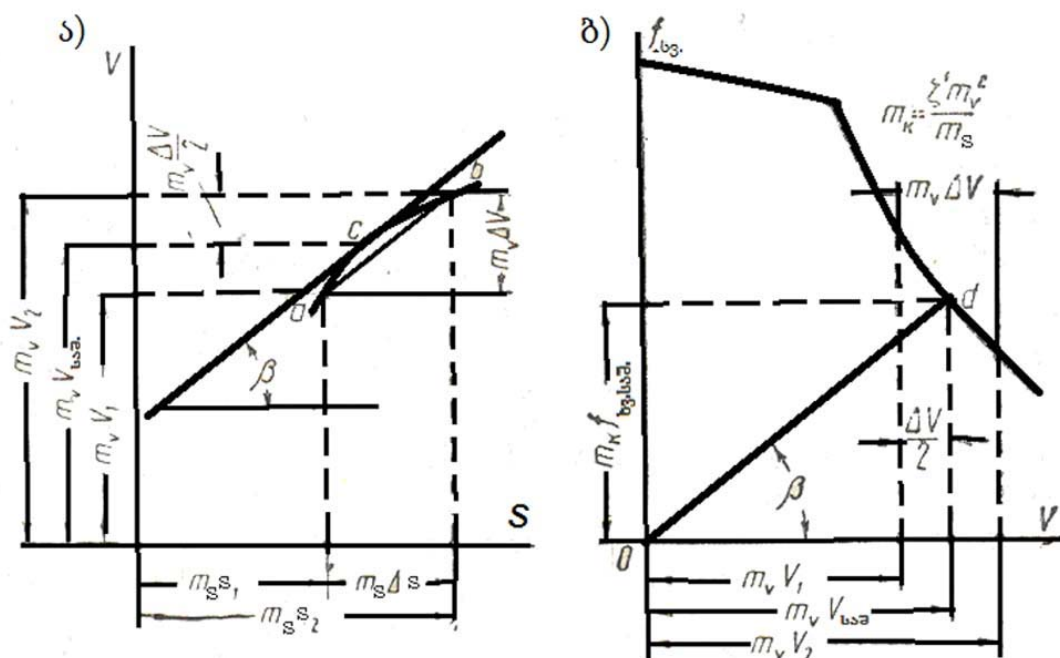
ადრე უკვე აღინიშნა, რომ ამ დროს რეალური მატარებლის მოძრაობისას იცვლება რიგი თანაბარ ამაჩქარებელი ძალებისა და

მრუდი  $v = f(s)$  იქნება შედგენილი პარაბოლის მონაკვეთებისაგან. თითოეული მათგანი იმოქმედებს სიჩქარის მოცემულ ინტერვალში.

განვიხილოთ ასეთი  $ab$  პარაბოლის მონაკვეთი რომელიმე სიჩქარის  $\Delta v = v_2 - v_1$  ინტერვალისათვის (ნახ. 3)  $a$ ,  $m_v$  და  $m_s$  სიჩქარის და მანძილის მასშტაბებისათვის.

გავატაროთ ქორდა  $a$  და  $b$  პარაბოლის წერტილებისათვის. როგორც ცნობილია მხები პარაბოლის  $c$  წერტილის ორდინატისათვის ტოლია საშუალო მნიშვნელობის მოსაზღვრე  $a$  და  $b$  წერტილებისა (ე.ი.  $\Delta v$  საშუალო) პარალელურია  $ab$  პარაბოლის ქორდისა.

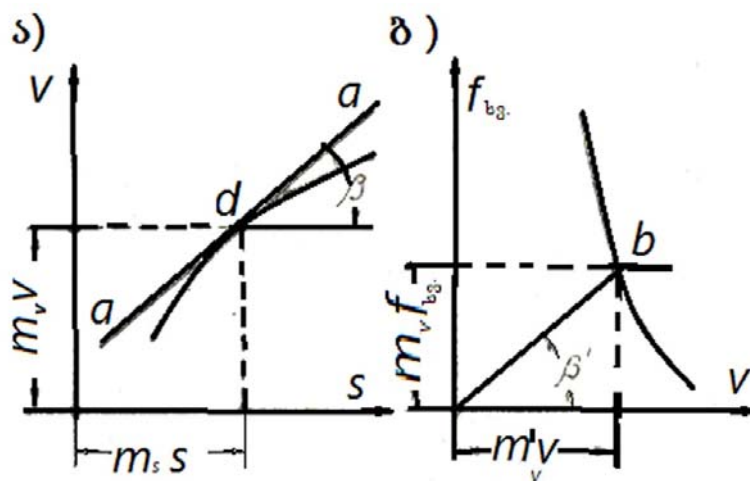
ამიტომ, თუ გავატარებთ  $\Delta v$  ინტერვალის ფარგლებში  $s$  წრფეს  $\beta$  კუთხით, ამ წრფის მონაკვეთი  $a$  და  $b$  იქნება პარაბოლის ქორდა და  $\Delta s$  მატარებლის გავლილი გზა,  $\Delta v$  -ს ცვლილებისას ტოლი იქნება  $ab$  ჰორიზონტალური მონაკვეთის პროექციის ტოლი  $m_s$  გზის მასშტაბში.  $\beta$  კუთხე იძებნება მოქმედი ძალების დიაგრამებით  $f = f(v)$ , როგორც ნაჩვენებია ნახ. 3, ბ.



ნახ. 3 სიჩქარის მანძილზე დამოკიდებულების  $v = f(s)$  მრუდის აგების მეთოდიკა გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით.

დავუშვათ, რომ  $v=f(s)$  მრუდი ცნობილია  $d$  წერტილში კოორდინატებით  $v, s$ . გატარებული მხები  $aa$  (ნახ. 4, ა)  $\beta$  კუთხის მხების ტანგენსი აბსცისათა ღერძისათვის ტოლია

$$tg = \frac{m_v dv}{m_s ds} \quad (29)$$



ნახ. 4. გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდის დროს  $m_v$  სიჩქარის და  $m_s$  გზის მასშტაბების შერჩევის მეთოდოლოგია.

(16) დამოკიდებულებას აქვს  $\frac{dv}{ds} = \frac{\zeta' f_{b3}}{v}$  სახე და მაშასადამე

$$tg\beta = \frac{m_v}{m_s} \frac{\zeta' f_{b3}}{v} \quad (30)$$

სხვა სიტყვებით  $tg\beta$  პროპორციულია  $\frac{f_{b3}}{v}$  დამოკიდებულებისა.

თავის მხრივ, ეს დამოკიდებულებები წარმოადგენენ  $\beta'$  კუთხის ტანგენსს  $V$  ღერძსა და  $Ob$  წრფეს შორის. თავიდანვე გატარებული  $O$  ორდინატა მოქმედი ძალის დიაგრამით  $f_{b3} = f(v)$  მრუდის  $b$  წერტილის გავლით  $v$  აბსცისის ტოლია. (იხ. ნახ. 4. ბ)

თუ  $f = f(v)$  მრუდისათვის მიღებულია ძალის  $m_k$  და სიჩქარის  $m_k$  მასშტაბი მაშინ

$$\operatorname{tg} \beta' = \frac{m_k}{m'_u} \quad (31)$$

მასშტაბების შერჩევით შეიძლება უზრუნველვეყოთ ტანგენსების და შესაბამისად  $\beta$  და  $\beta'$  კუთხეების ტოლობა.

ვიპოვოთ საჭირო მასშტაბები (30) და (31) მარჯვენა გამოსახულებების ერთმანეთთან გატოლებით.

$$\frac{m_v}{m_s} \frac{\zeta' f_{\text{ბჰ}}}{v} = \frac{m_{\text{ფ}} f_{\text{ბჰ}}}{m'_u v}$$

ან შეკვეცის შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{\zeta' m_v}{m_s} = \frac{m_{\text{ფ}}}{m'_v} \quad (32)$$

ამგვარად, ოთხი მასშტაბიდან მეოთხე მასშტაბის გამოთვლა ხდება (32)-ით. როგორც წესი, სიჩქარეების მასშტაბს იღებენ ერთი და იგივეს  $m'_v = m_v$  და მიმართავენ ძალებისათვის მოსახერხებელ მასშტაბს, ხოლო გზის  $m_k$  მასშტაბს ანგარიშობენ

$$m_s = \frac{\zeta' m_v^2}{m_{\text{ფ}}} \quad (33)$$

მასშტაბების ასეთი არჩევა გამოწვეულია იმით, რომ  $m_s$  გზის მასშტაბი შეიძლება აღმოჩნდეს მოუხერხებელი. ყველაზე ხშირად საჭიროა გამოვიყენოთ მხოლოდ ერთხელ პროფილის დაზვერვისას  $s$  ღერძის მიხედვით, ასევე მასზე ძირითადი პუნქტების და სხვა ნიშნების დატანის დროს.

პრაქტიკულად  $v = f(s)$  მრუდი აიგება შემდეგი თანმიმდევრობით. ირჩევენ  $m_v$ ,  $m_s$  და  $m_{\text{ფ}}$  მასშტაბებს, რომელიც აკმაყოფილებს (33) ტოლობას და მილიმეტრების დანაყოფის მქონე ქაღალდზე ე.წ. „მილიმეტროვკაზე“ ხაზავენ  $f_{\text{ბჰ}} = f(v)$  ხვედრითი თანაბარმოქმედი ძალების დიაგრამას სწორი და ჰორიზონტალური გზისათვის, როგორც საანგარიშო-გრაფიკული მეთოდის დროს, შემდეგ დააქვთ კუთხეების კოორდინატები, რომელთა ღერძებიც არის  $v$  და  $s$   $v = f(s)$  მრუდისათვის.  $v$ -ს ღერძი ორივე დიაგრამაში ტარდება ერთმანეთის პარალელურად.



ს დერძის ქვეშ აღნიშნავენ პროფილის გარდატეხის წერტილებს, იწერენ გასწორებული ქანობების სიგრძეს, დააქვთ გაჩერების ადგილები და სიჩქარის შეზღუდვის საზღვრები და ა.შ. [1;2;3;4;5;6;7]

41

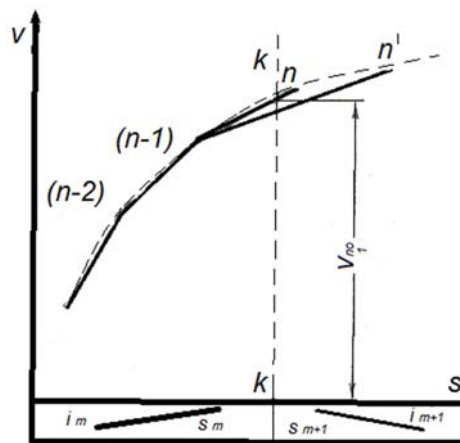
აღნიშნული სიჩქარის ინტერვალები  $\Delta v_1, \Delta v_2, \dots$  და რომელიც ჩამორჩება  $OO_1 = m_0 i_1$  მანძილით  $f_{\text{ხვ.}}$ -ის  $O_1$  დადებითი მიმართულებით.  $O_1$  წერტილი საწყის პროფილზე წარმოადგენს საწყის კოორდინატს  $f_{\text{ხვ.}} = f(v)$  ხვედრითი ძალის დიაგრამაზე წვევის რეჟიმისას. ამით ეს ძალები შემცირებულია  $[კგძ/ტ]$

$f_0 = f(v)$  მრუდის  $\Delta v_1, \Delta v_2, \dots$  საშუალო ინტერვალებში აღნიშნავენ 1, 2, ... წერტილებს, რომელთა ორდინატებიც ( $O_1 O'_1$  ღერძამდე)  $f_{\text{საშ.1}}, f_{\text{საშ.2}}, \dots$  ამაჩქარებელი ძალებისა საშუალო  $v_{\text{საშ.1}}, v_{\text{საშ.2}}, \dots$  სიჩქარის შესაბამის ინტერვალებში ტოლია.  $O_1$ -დან 1, 2, ... წერტილებში გატარებული სხივები ქმნიან  $V$  ღერძთან  $\beta_1, \beta_2, \dots$

შემდეგ უშუალოდ იწყებენ  $v = f(s)$  მრუდის აგებას გადასარბენის საწყისი  $O'$  წერტილიდან ავლებენ  $O'_1$  სხივს  $\beta_1$  კუთხით,  $\Delta v_1$  ინტერვალის ფარგლებში  $1'$  წერტილამდე. ღერძების მიღებული განთავსებისას მოქმედი ძალების დიაგრამების ასაგებად საკმარისია გავატაროთ  $O'$  წერტილში  $O_1$ , პერპენდიკულარულად სხივი სწორი და მართკუთხა სამკუთხედებით ზემოთ აღნიშნულის თანახმად  $O'_1$  პროექცია  $s$  ღერძზე ტოლია  $\Delta s_1$ -ის,  $m_s$  გზის მასშტაბში.  $v = f(s)$  მრუდის მიღებული  $1'$  წერტილიდან ატარებენ წრფეს  $1'2'$ ,  $\Delta v_2$  ინტერვალის ფარგლებში  $O_2$ -ის, მართობულად  $2'$  წერტილამდე.  $1'2'$  მონაკვეთის პროექცია  $s$  ღერძზე გამოსახავს  $\Delta s_2$ .  $2'$  წერტილიდან ატარებენ  $2'3'$  წრფეს,  $O_3$ , სხივის პარალელურად და ა.შ. როგორც ნახ. 5-ზე არის ნაჩვენები. ასეთი წესით აგება ავტომატურად განაპირობებს  $\Delta s$  ზედღებას, ამიტომაც ნებისმიერი აბსცისა წარმოადგენს მატარებლის მიერ განვლილ გზას, მატარებლის მოძრაობის დაწყებიდან. თუ მიღებულ წერტილებს  $1'2'$  შევადერთებთ ლეკალოს სახაზავის მეშვეობით მივიღებთ  $v = f(s)$  საბოლოო სახეს. ამ მრუდს ჩვეულებრივ არ ატარებენ და შემოიზღუდებიან ნახაზზე მათი ქორდებით, როგორც ეს ნახ. 5-ზეა ნაჩვენები.

შემდგომ ქანობის ელემენტზე  $+i_2$  მრუდს  $v = f(s)$  აგებენ ანალიზურად, მაგრამ იმ სიჩქარიდან, რომელთა წინა პროფილის  $K$  ბოლოზეა მიღებული და მოქმედი ძალების დიაგრამაზე აღნიშნავენ ახალ საწყის კოორდინატს  $O_2$ , რომელიც ჩამორჩება  $O$  წერტილს  $OO_2 = m_0 i_2$

მანძილით. წარმოვიდგინოთ, რომ მატარებელი გადის სხვა ელემენტზე ზუსტად 3' წერტილზე  $V_3$  სიჩქარით და აგრძელებს მოძრაობას დენის მოხმარებით. იმდენად, რამდენადაც საწყისი სიჩქარე  $V_3$  მეტია  $V_2$  მატარებლისათვის  $i_2$  აღმართისათვის დადგენილ სიჩქარეზე, სიჩქარე დაიწეებს შემცირებას და ამიტომ აუცილებელია მივმართოდ  $\Delta v$ -ს საწინააღმდეგო გარდაქმნებს. ნახ. 5-ზე (მარცხნივ)  $V_3 - V_2$  სხვაობა დაყოფილია  $\Delta v_4$  და  $\Delta v_5$  ინტერვალებად.



ნახ. 6. ქანობის ელემენტის ცვლილების შემთხვევაში გადასვლის საწყისი სიჩქარის განაზღვრა K წერტილში

$f_0 = f(v)$  მრუდზე  $\Delta v_4$  და  $\Delta v_5$  ინტერვალების შუალედებში აღნიშნავენ 4 და 5 წერტილებს, რომლებსაც აერთებენ სხივებით  $O_2$ -თან. 3' წერტილიდან  $O_2$  სხივის პერპენდიკულარულად  $\Delta v_4$  ინტერვალის ფარგლებში ატარებენ წრფეს 3'4' და 4'-დან წრფეს 4'5'-ს  $O_2$  5 სხივის პერპენდიკულარულად. 5' წერტილიდან მატარებელი იმოძრაებს დადგენილი სიჩქარით  $V_{\text{გ2}}$ , შემდეგ პროფილამდე.

სშირად მრუდის აგებისას გზის რომელიმე  $i_m$  ქანობის ელემენტისათვის ნაპოვნი საბოლოო წერტილი, ზუსტად არ ემთხვევა ქანობის დასასრულის K წერტილს, როგორც ეს ნახვენებია (ნახ. 5). ამ შემთხვევაში აუცილებელია ვიპოვოთ K წერტილში სიჩქარე, რომელიც მოძრაობის მრუდის შემდგომი აგებისას იქნება საწყისი. თუ წერტილი პროფილის დასასრულთან ახლოს აღმოჩნდა (ორდინატი KK) როგორც

მაგალითად  $n$  წერტილი (ნახ. 6), მაშინ სიჩქარე  $V_{no}$  შეიძლება მიახლოებით ჩავთვალოთ  $KK$  წრფისა და  $(n-1)$ - $n$  ქორდის გადაკვეთის წერტილის ორდინატის ტოლად, ნაჩვენები  $KK$  წრფიდან წერტილის მნიშვნელოვანი დაცილებისას (მაგ:  $n'$  წერტილი) შეიძლება მივმართოდ სიჩქარის პატარა ინტერვალებს  $\Delta v_n < \Delta v_{n'}$ , რათა წერტილის შემდგომი აგებისას ის აღმოჩნდეს  $KK$  წრფის სიახლოვეს.

$V_{no}$  მოძებნის მარტივი გზა მდგომარეობს შემდეგში, რომ  $v = f(s)$  აგებულ წერტილებზე  $n$  ან  $n'$ -ის ჩათვლით ატარებენ მდორე მრუდს (იხ. ნახ. 6) ამ მრუდის  $KK$  წრფესთან გადაკვეთის ორდინატა განსაზღვრავს  $V_{no}$ .

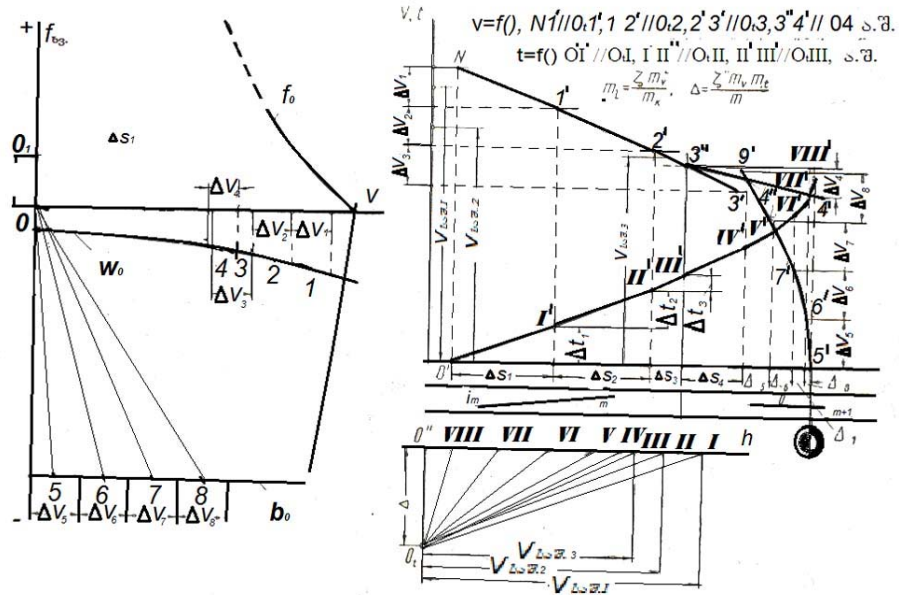
$\beta$  კუთხეები შეიძლება ავაგოთ პარალელური წრფეებისა და არა პერპენდიკულარების გატარებით როგორც ნახ. 5-ზე თუ თანაბარ-მოქმედი ძალების  $f_{\beta} = f(v)$  დიაგრამას მოვაბრუნებთ  $90^\circ$  გრადუსით საათის ისრის მიმართულებით ისე, რომ  $V$  ღერძი იყოს პარალელური  $s$  ღერძისა და  $f_{\beta}$  ღერძი – პარალელური  $V$  ღერძის კოორდინატთა  $V, S$  სისტემის. პარალელური წრფეები ტარდება უფრო ზუსტად, ვიდრე პერპენდიკულარები, ვინაიდან აგების სისწორეზე არ მოქმედებს სამკუთხედის სწორი კუთხის სისწორე, ბევრი ავტორი უპირატესობას ანიჭებს მოძრაობის მრუდების აგებისას გამოიყენონ პარალელური წრფეები.

ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია გორვის და სამომსახურეო დამუხრუჭების მრუდების აგება, რომელიც წარმოებს პარალელური წრფეების გატარებით შესაბამის  $O_1, O_2 \dots$  სხივებთან.  $t = f(s)$  მრუდის აგება გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით.

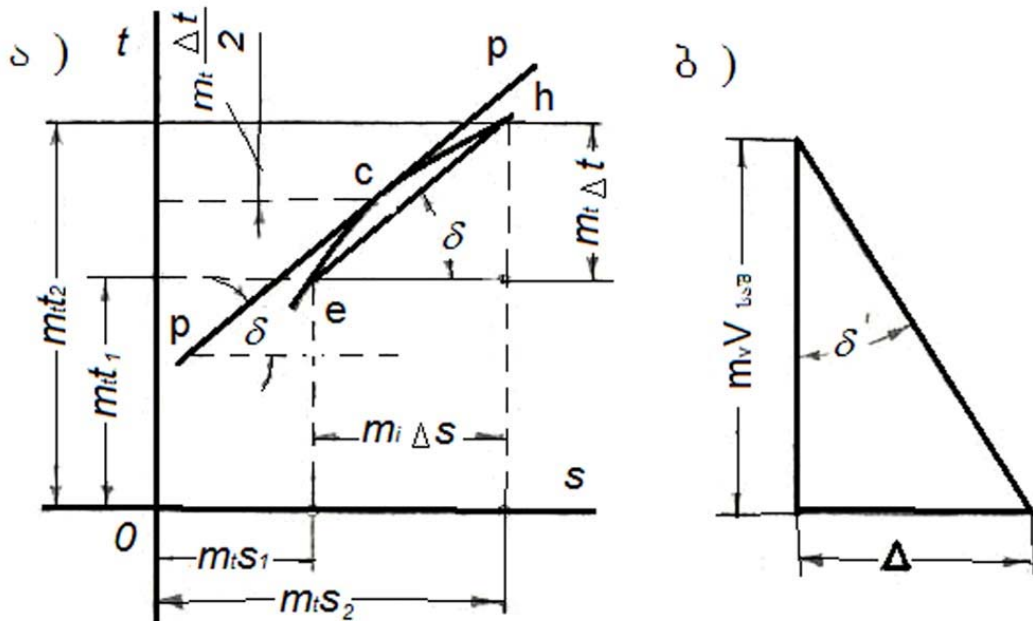
$t = f(s)$  დამოკიდებულებას გრაფიკულად ანგარიშობენ მანამდე აგებული მრუდის დახმარებით. თანაბარ-აჩქარებული მოძრაობისას მრუდი  $t=f(s)$  ასევე პარაბოლას წარმოადგენს. ამიტომ  $\Delta s$  გზის ნებისმიერი გარდაქმნისას პარაბოლას მხეები  $\Delta t$  საშუალო მნიშვნელობისას იქნება პარაბოლას ქორდის პარალელური. ამ მიზეზით  $pp$  მხეების და  $eh$  ქორდის დახრის კუთხეები  $s$  ღერძთან იქნება ერთნაირი (ნახ. 8. ა.) მხეების კუთხური კოეფიციენტი ტოლია:

$$tg = \frac{m_t \Delta t}{m_s \Delta s} = \frac{m_t}{m_s \left( \frac{\Delta s}{\Delta t} \right)}$$

სადაც  $m_t$  – დროის მასშტაბია



ნახ. 7. გორვის და სამომსახურეო დამუხრუჭების მრუდების აგება პარალელური წრფეების მეშვეობით



ნახ. 8.. დროის  $m_t$  მასშტაბის შერჩევის მეთოდიკა

(27) განტოლებიდან გვაქვს

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{v_{\text{საშ.}}}{\zeta''},$$

შესაბამისად

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{m_t \zeta''}{m_s v_{\text{საშ.}}} \quad (34)$$

$V_{\text{საშ}}$  სიჩქარეს ვპოულობთ  $v = f(s)$  მრუდის მეშვეობით, როგორც საშუალო არითმეტიკულის  $\Delta v$  ინტერვალში, რომელიც პასუხობს  $\Delta s$ -ს. ნახაზზე პროპორციული სიდიდის  $1/V_{\text{საშ}}$  მისაღებად აგებენ (ნახ. 8,ბ) მართკუთხა სამკუთხედს, რომლის ერთი კათეტიც  $V_{\text{საშ}}$ -ის, ხოლო მეორე კათეტის სიგრძე  $\Delta$  მუდმივის ტოლია. ვპოულობთ  $\Delta$  კათეტის მოპირდაპირე კათეტის  $\delta'$  კუთხის ტანგენსს

$$\operatorname{tg} \delta' = \frac{\Delta}{m_v v_{\text{საშ.}}} \quad (35)$$

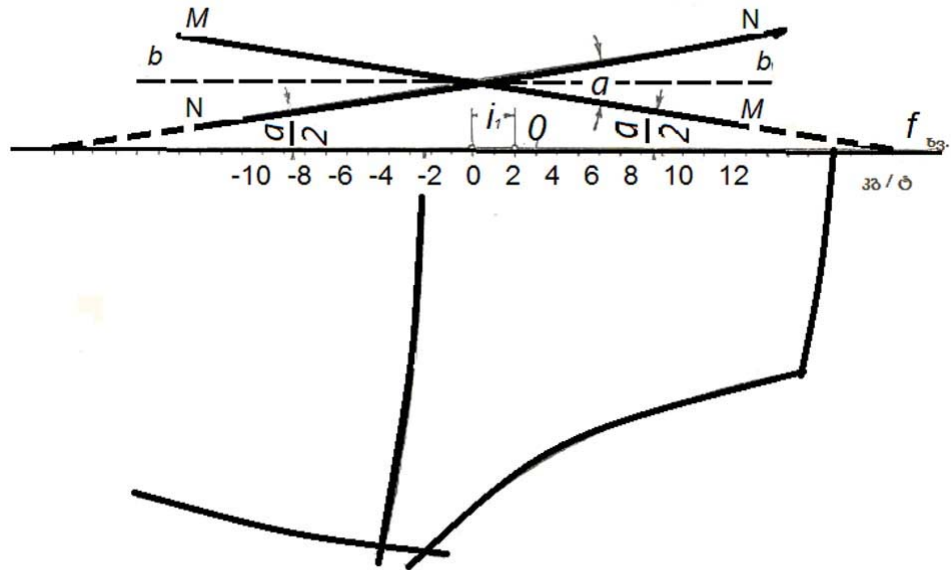
თუ დავუშვებთ, რომ  $\delta = \delta'$  კუთხეები ტოლია (34) და (35) ვუტოლებთ ერთმანეთში, ვიღებთ:

$$\Delta = \frac{\zeta'' m_t m_v}{m_s} \quad (36)$$

ეს ხერხი საშუალებას იძლევა გრაფიკულად ვიპოვოთ  $\delta$  მხების დახრის კუთხეები  $\Delta s$  გზის მიმდევრობითი ინტერვალებისათვის, რომელიც მიღებულია  $v = f(s)$  მრუდის ასაგებად.

გავატარებთ რა  $\delta$  ნაპოვნი კუთხეებით  $S$  ღერძის მიმართ ქორდებს,  $\Delta s$  ინტერვალის ფარგლებში ვპოულობთ  $\Delta t = m_s \Delta s \operatorname{tg} \delta$  დროს და შესაბამისად  $t = f(s)$  მრუდის წერტილებს.

ნახ. 9. პრაქტიკულად  $\Delta$  კათეტი, რომელსაც „პოლუსურ მანძილს“ უწოდებენ, მოსახერხებელია გავატაროთ  $s$  ღერძის მიმართ მისი საწინააღმდეგო მიმართულებით, მაგალითად  $O'$  წერტილიდან, როგორც ნახვენებია ნახ. 5-ზე.  $O''$  პოლუსური მანძილის ბოლოდან ვატარებთ  $O''h$  ღერძს,  $V$  ღერძის პარალელურად; მასზე აღნიშნავენ  $I, II, \dots$  წერტილებს, რომლებიც პასუხობენ  $V_{\text{საშ.1}}, V_{\text{საშ.2}} \dots$  საშუალო სიჩქარეებს და ატარებთ  $O'I, O''II$  სხივების მართობულად, როგორც ეს ნახვენებია ნახ. 5-ზე.



ნახ. 9. გზის პროფილის ცვლილების შემთხვევაში პოლუსური მანძილის ცვლილება მატარებლის მოძრაობის რეჟიმების გათვალისწინებით

თუ B პოლუსურ მანძილს მოვაბრუნებთ ღერძთან ერთად  $90^\circ$ -ით საათის ისრის მიმართულებით,  $O'I$ ,  $O''I$  საჭიროა მოვაბრუნოთ არა პერპენდიკულარულად, არამედ შესაბამისი სხივების პარალელურად. ამ შემთხვევისათვის ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია პოლუსური მანძილის და მისი  $O''h$  მართობული ღერძის განლაგება, რომლის მიხედვითაც დებენ საშუალო სიჩქარეებს და ამ მეთოდით აგებენ  $t = f(s)$  მრუდს გორვისა და სამუხრუჭო რეჟიმებისათვის.

ცხრ. 2-ში მოყვანილია მასშტაბები, რომელთა გამოყენებაც მოსახერხებელია მოძრაობის მრუდების გრაფიკული მეთოდით აგებისას. ელექტრომაგლის წვევისათვის, სამუხრუჭო და სხვა სპეციალური გაანგარიშებისათვის მასშტაბების მნიშვნელობა რეკომენდებულია -ის წვევის გაანგარიშების წესების (წ.გ.წ.) მიერ. ცხრილში 2. მითითებულია მასშტაბების გაანგარიშებისათვის საჭირო მბრუნავი ნაწილების ინერციის  $(1+\gamma)$  კოეფიციენტები.  $(1+\gamma)$ -ს სხვა მნიშვნელობებისას, მასშტაბები აუცილებელია ვიანგარიშით (33) და (36) გამოსახულებებით.

ცხრილი 2.

წ.გ.წ.-ს მიერ რეკომენდებული მასშტაბები მოძრაობის მრუდეების გრაფიკული მეთოდით გაანგარიშებისათვის

მასშტაბები	სატვირთო და სამგზავრო მატარებლებისათვის $(1+\gamma)=1,06$			ელ.მატარებლებისათვის $(1+\gamma)=1,06$		სამუხრ. და სხვა სპეც. გამოთვლებისათვის $(1+\gamma)=1,06$		მეტროპოლიტენისათვის $(1+\gamma)=1,1$	
	1	2	3	1	2	1	2	1	2
$m_{v1}$ მმ/კგძ/სთ	2	1	2	1	1,5	2	1	2	1
$m_{k1}$ მმ/კგძ/ტ	12	6	10	2	3	2	1	2	1
$m_{s1}$ მმ/კგძ	40	20	48	60	90	240	120	230	115
$m_{tl}$ მმ/წთ	10	10	10	50	50	-	-	100	50
$\Delta_1$ მმ	30	30	25	50	50	-	-	52	26

### 1.9 მატარებლის მოძრაობის განტოლების ინტეგრირების რიცხვითი მეთოდი

ცნობილია მატარებლის მოძრაობის განტოლების რიცხვითი მეთოდით ინტეგრირება, რომელიც შეიძლება დავყოთ სამ ჯგუფად საერთო ინტერვალის მწკრივებად დაშლა; თანდათანობით მიახლოების მეთოდის გამოყენებით; მიახლოებითი რიცხვითი ინტეგრირება. [12]

დიფერენციალური განტოლებების ციფრულ ამოხსნას საფუძველი დაუდო ლ. ილერმა. [13]

ვთქვათ საძიებელი ფუნქცია განისაზღვრება დიფერენციალური განტოლებით

$$\frac{dy}{dx} = \varphi(x, y).$$

საწყისი პირობებით  $y(x_0) = y_0$ , თუ ავირჩევთ რაღაც ბიჯს  $h$ , მივიღებთ რომ ვიდრე  $X$  მრუდეებს  $X_0$ -სა და  $X_0 + h$  -ს შორის  $y$



მცირედ განსხვავდება  $y_0$ -ისგან და წარმოებული  $\frac{dy}{dx}$  ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას  $\varphi(x, y)$ . მაშინ განსახილველი ინტერვალისათვის შეიძლება დავწეროთ:

$$y = y_0 + (x - x_0) \cdot \varphi(x_0, y_0).$$

როცა  $x = x_0 + h$

$$y = y_0 + h \cdot \varphi(x_0, y_0) = (x - x_0)y_1$$

მეორე ინტერვალისათვის, როცა  $x = x_0 + 2h$

$$y = y_0 + h \cdot \varphi(x_1, y_1) = y_2$$

და ა.შ. მივიღებთ წერტილთა ერთობლიობას კოორდინატებით

$x_i - x_i$ , არის ტეხილი ხაზის წვეროები და წარმოადგენს განტოლების მიახლოებით ამოხსნას. საერთო სახით ნებისმიერი  $i$ -სთვის შეიძლება დავწეროთ

$$y_{i+1} = y_i + h \cdot \varphi(x_i, y_i) \quad (i = 0, 1, 2, \dots).$$

რაც უფრო მცირეა  $h$ , მით უფრო ახლოსაა მიღებული წრფე საძიებელ ინტეგრალურ მრუდთან  $y = y(x)$ . მაგრამ რაც უნდა მცირე იყოს ბიჯი, წერტილთა მცირე ცდომილებები იკრიბება, გროვდება და აღწევს საკმაოდ დიდ სიდიდეს, მითუმეტეს იმ შემთხვევაში, როცა ფუნქცია სწრაფად იცვლება ერთი ბიჯიდან მეორე ბიჯში გადასვლისას მის მოდიფიკაციას ეილერი-კოშის დაზუსტებული მეთოდით შეიძლება თეორიულად გავუკეთოთ რეალიზაცია გამოთვლით მანქანებში სპეციალურად წვევის გაანგარიშებისათვის გამოყენება ჰპოვა  $y = y(x)$  ფუნქციის დაშლამ ტეილორის ან მაკლარენის მწკრივებად. [9;13]

$$y(x+h) = y(x) + \frac{h}{1!} y'(x) + \frac{h^2}{2!} y''(x) + \dots + \frac{h^n}{n!} y^{(n)}(x) + f_n$$

სადაც  $f_n$  - არის მწკრივის ნაშთი.

თუ გამოვიყენებთ ამ მწკრივის პირველ ორ წევრს, მაშინ მივიღებთ დიფერენციალური განტოლების რიცხვითი ამოხსნის ეილერის ზემოთ აღნიშნულ მეთოდს. წვევის გაანგარიშების წესები ელექტრონულ-გამომთვლელ მანქანებზე გამოსაყენებლად რეკომენდაციას იძლევა, რომ ბოლო მწკრივიდან გამოვიყენოთ პირველი სამი წევრი. [11]

ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებზე წვევის გაანგარიშების ჩატარებისას საჭიროა გამოყენებულ იქნას შემდეგი რეკომენდაციები: თითოეული გზა უნდა დაიყოს ცალკეულ უბნებად, რომლისთვისაც გაიცემა დამოუკიდებელი დავალებები და მის საფუძველზე ჩატარდეს წვევის გაანგარიშებები. უბნის საზღვრად აიღება სადგურები, საწარმოების მატარებლის მასის ნორმის გარდატეხა, ელექტრომაგლის ან სალოკომატივო ბრიგადის შეცვლა და ა.შ. უბნისათვის უნდა გეგმონდეს შემდეგი ინფორმაცია, რომელიც მზადდება ბიბლიოთეკის სახით, სადაც ამ საანგარიშო უბანს მიეკუთვნება განსაზღვრული შიფრი. თითოეულ საანგარიშო უბანზე უნდა გეგმონდეს შემდეგი ცნობები: უბნის შიფრი; უბანზე კავშირის სახე; უბნის პროფილი; გამყოფი პუნქტების ჩამონათვალი გადასარბენების ღერძებს შორის მანძილის და ღერძიდან შესასვლელ და გამოსასვლელ შუქნიშნამდე მანძილის ჩვენებით; გზის უბნის მოსახვევების რაოდენობა. დასაშვები სიჩქარეები; მოძრაობის სიჩქარეები მთავარ და სასადგურე გზებზე; ინფორმაცია მოძრავ შემადგენლობაზე – ელექტრომაგლების და ელექტრომატარებლების სერია, საანგარიშო მასა და კონსტრუქციული სიჩქარე, წვევის მახასიათებლები  $F_j = F_j(v)$ , ელექტრომაგლის და ელექტრომატარებლების დენის მუშა მახასიათებლები  $I_j = I_j(v)$ , წვევის ძრავის სითბური მახასიათებლები, სამუხრუჭე და დენის მახასიათებლები თუ განიხილება რეკუპერაციული დამუხრუჭება და მონაცემები სავაგონო პარკის შესახებ.

მთლიანი ინფორმაცია უბნებზე, მოძრავ შემადგენლობაზე გაივლის წინასწარ დამუშავებას და ორგანიზდება შესაბამისი ბიბლიოთეკებით, რომელიც ინახება მანქანის გარე მეხსიერებაში. გაანგარიშების შედეგად უნდა მივიღოთ შემდეგი რეზულტატები: სვლის და დამუხრუჭების დრო გადასარბენზე, ენერგიის ხარჯის სიდიდე გადასარბენებზე ელექტრომაგლის მოძრაობის რეჟიმების მიხედვით უნდა შემოწმდეს წვევის ძრავები გახურებაზე, შეიძლება გამომთვლელმა მანქანამ ცალკე წარმოადგინოს გრაფიკები  $v = v(s)$ ;  $t = (s)$ .

გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენება მოძრაობის განტოლების, როგორც ანალიზური, ისე რიცხვითი მეთოდით ამოხსნისას რთულდება მოსამზადებელი სამუშაოს ჩატარების გამო, განსაკუთრებით ბიჯის შერჩევისას, ეს გამოწვეულია იმით, რომ რკინიგზის გრძივი პროფილის

მონაცემები მოიცავს მანძილის მონაკვეთებს  $\Delta s$  – სიგრძით 100, 150, 200, 250მ–ს, რომლის ფარგლებშიც იცვლება როგორც ქანობი, ისე მოსახვევების რადიუსები და რკალის სიგრძეები. და ამის რეალური ასახვა პროგრამაში პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგან პროგრამირების დროს უნდა შემოვიღოთ ცვალებადი ბიჯი, რომლის დასაწყისის და ბოლოს ფიქსირება პრაქტიკულად შეუძლებელია.

ჯერ კიდევ XX–ე საუკუნის დასაწყისში შეიქმნა პირველი მატარებლის მოძრაობის განტოლების ინტეგრატორები, რომლებიც ეფუძნებოდნენ მოქმედების მექანიკურ (ან. კრილოვის ინტეგრატორი) და ელექტრომექანიკურ (ამსლერის ინტეგრატორი) პრინციპებს. არცერთ ხსენებულ მანქანას არ გააჩნდა მოქმედების მაღალი სისწრაფე და ამიტომ დიდი გავრცელება ამ მანქანება ვერ ჰპოვეს.

1954წ. შეიქმნა წვეის გაანგარიშების ჩატარების ავტომატი ე.წ. (ATP), რომელიც ეფუძნებოდა სპეციალური მოქმედებების ბლოკების და ფუნქციონალური გარდასახების მოქმედებებს. ეს მანქანები ახორციელებდნენ ალგებრულ შეკრებებს, ინტეგრირებას და სხვა ოპერაციებს მანქანაში მოდელირებული სიდიდეების გამოყენებით, რისთვისაც მოძრაობის განტოლებაში შემავალი მოქმედი ცვლადები  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , წარმოდგებოდა შესაბამისი ძაბვების სახით. ამ ბლოკების მეშვეობით ხდებოდა ხვედრითი ძალების აპროქსიმაცია და წარმოებდა მოძრაობის განტოლების მიახლოებითი ინტეგრირება. ასეთი სახით ცვლადების შეყვანა ოპერატორისათვის წარმოადგენდა მეტად რთულ სამუშაოს და მოითხოვდა დიდ დროს, რადგან ასეთივე მეთოდით ხდებოდა გზის პროფილის მოდელირებაც და წინაღობების მნიშვნელობების შეყვანა ხდებოდა პოტენციომეტრის გამოყენებით. ამ სირთულეების გამო ავტომატის გამოყენება დიდ პრობლემებთან იყო დაკავშირებული.

მიუხედავად აღნიშნული მანქანების შემდგომი დახვეწისა და ექსპლუატაციის გამოცდილებამ აჩვენა, რომ უფრო ეფექტური იყო წვეის გაანგარიშების ჩატარება ე.გ.მ–ის გამოყენებით.

## 2. შედეგები და მათი განსჯა

### 2.1 წვევის გაანგარიშებისათვის საჭირო მოსამზადებელი სამუშაოს ჩატარების სტრუქტურა

#### 2.1.1 პროფილის გასწორება

მატარებლის მოძრაობის განტოლების გადაწყვეტა გრაფიკული მეთოდით, გარდა ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების დიაგრამებისა, ყოველი მოძრაობის რეჟიმისათვის აუცილებელია, რომ ვიცოდეთ მოძრაობის დამატებითი წინააღმდეგობის ძალების მნიშვნელობები [14].

რკინიგზის რელიეფი შედგება რიგი მიმდევრობით განლაგებული ელემენტებისაგან, რომელიც განსხვავდება ქანობის დახრილობით და ზოგიერთ მათგანზე სხვადასხვა რადიუსის მქონე მრუდებისაგან. გაანგარიშებების გამარტივებისათვის და მათი სიზუსტის ამადლებისათვის ერთი ელემენტიდან მეორეზე გადასვლის დროს მოცემულ პროფილს ამუშავებენ-ასწორებენ პროფილში და გეგმაში. მოცემულ მოძრაობის დამატებით წინააღმდეგობას ითვალისწინებენ  $V(s)$  მრუდის აგების დროს. [1;2;3;4;5;6;7;10;11;15]

პროფილის ელემენტების გასწორება გულისხმობს რამოდენიმე მეზობლად განლაგებული ელემენტების შეცვლას (რომლებიც დიდად არ უნდა განსხვავდებოდეს). გამომდინარე აქედან, გასწორებული პროფილის ელემენტი განისაზღვრება:

$$i'_c = \frac{\sum i_i s_i}{\sum s_i} \quad (37)$$

სადაც  $i'_c$  – გასწორებული ქანობის ელემენტი, %;

$i_i$  – თითოეული გასასწორებელი ელემენტის ქანობი, %;

$s_i$  – თითოეული გასასწორებელი ელემენტის სიგრძე, %;

იმ შემთხვევაში, როცა მოცემულია არა ქანობები, არამედ სიმაღლეები ზღვის დონიდან, სიდიდე  $i'_c$  განისაზღვრება, როგორც:

$$i'_c = 1000 (H_{\text{საწ.}} - H_{\text{დას.}}) / S_c \quad (38)$$

სადაც  $H_{\text{საწ.}}$  და  $H_{\text{დას.}}$  – სიმაღლეა, შესაბამისად, დასაწყისია და დასასრულია გასწორებული ელემენტისა ზღვის დონიდან, მ;

$S_c$  – გასწორებული ელემენტის სიგრძე, მ.

თუ გავასწორებთ ელემენტებს, რომლებიც დიდად განსხვავდება ქანობის დახრილობით, მაშინ მოცემული ფორმულით გაანგარიშება იძლევა დამატებით ცდომილებას. ამიტომ წევის გაანგარიშების წესებში მოყვანილია ემპირიული ფორმულა პროფილის ელემენტების შესამოწმებლად, რათა ცდომილება იყოს დასაშვებ ფარგლებში.

$$S_i \leq \frac{2000}{\Delta i} \quad (39)$$

მიახლოვებით გამოთვლებისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ

$$S_i \leq \frac{4000}{i}$$

სადაც  $\Delta i = |i_c - i_i|$  – აბსოლუტური სხვაობაა (ნიშნის გათვალისწინების გარეშე) გასწორებულ და შემოწმებულ ქანობის ელემენტებს შორის.

(39) ფორმულით მოწმდება ყოველი გასწორებული ელემენტი.

დამატებითი წინააღმდეგობის გადასალახავად, რომელიც წარმოიქმნება მატარებლის მოძრაობის დროს მრუდებში, ითვალისწინება მთელი გასწორებული  $S_c$  უბნის ფარგლებში (ან თუ არ სწორდება,  $s_i$  ელემენტის ფარგლებში) და არა მრუდის სიგრძის ფარგლებში. ეს დამატებითი წინააღმდეგობა წრფივ აღმართზე ე.წ. ფიქტიურ  $i_c''$  აღმართზე. რამდენიმე მრუდის არსებობისას ელემენტზე მას განსაზღვრავენ ფორმულით:

$$i_c'' = \frac{700}{s_c} \sum \left( \frac{s_{\partial i}}{R_i} \right) \text{ ან } i_c'' = 12,2 \frac{\sum \alpha_i^0}{S_c} \quad (40)$$

სადაც  $i_c''$  – ფიქტიური აღმართია, ‰,

$S_{\partial i}$  – გასწორებულ ელემენტზე თითოეული მრუდის სიგრძეა.

$R_i$  – თითოეული მრუდის რადიუსია, მ;

და  $i_c''$  ჯამს საბოლოო ან მოყვანილ ქანობს უწოდებენ.

$$i_c = i_c' + i_c'' \quad (41)$$

აღმართზე  $i_c$  იქნება „+“ ნიშნით, დაღმართზე „-“ ნიშნით.  $i_c$  სიდიდეს ყოველთვის აქვს „+“ ნიშანი.

## 2.1.2 შემადგენლობის მასისა და წონის განსაზღვრა

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ ტვირთების გადაზიდვა გაცილებით მომგებიანია დიდი მასის მქონე სატვირთო მატარებლების შემთხვევაში. ამ დროს იზრდება რკინიგზის გამტარუნარიანობა, მცირდება თვითღირებულება და იზრდება გადაზიდვების ეკონომიკური მხარე, თუმცა აღნიშნული სიტუაცია მოითხოვს ლოკომოტივის წვეის ძალის და სიმძლავრის ზრდას.

შემადგენლობის მასას სატვირთო მატარებლებისათვის განსაზღვრავენ ლოკომოტივის მაქსიმალური წვეის ძალის პირობის გათვალისწინებით შესაძლო მაქსიმალურ ქანობზე მოძრაობისას, მიღებულ შემადგენლობის მასას ამოწმებენ ადგილიდან დაძვრის და სადგურის ღლიანდაგებში ჩატევის პირობით. სამგზავრო მატარებლების მასას განსაზღვრავს წვეის გაანგარიშების წესები. [11]

მატარებლის მასის გაანგარიშების წინ აანალიზებენ უბნის პროფილს და ირჩევენ ყველაზე დიდ აღმართს. ყველაზე ციცაბო აღმართი, რომელსაც გააჩნია შედარებით დიდი გაგრძელების სიდიდე, რომელზე მოძრაობისასაც სიჩქარე მცირდება და აღწევს (წ.გ.წ.) –ით დასაშვებ მნიშვნელობას განიხილავენ, როგორც საანგარიშოს, ხოლო ლოკომოტივის მიერ განვითარებულ წვეის ძალას ასევე თვლიან საანგარიშოდ [16]

იმ შემთხვევაში, როცა ყველაზე ციცაბო აღმართს აქვს მცირე გაგრძელების სიდიდე და მის წინ განლაგებულია მსუბუქი ელემენტების პროფილები, მატარებლის მასას განსაზღვრავენ შერჩევის მეოთხედით, კინეტიკური ენერგიის გათვალისწინებით.

თანაბარი მოძრაობის დროს საანგარიშო ქანობზე საანგარიშო წვეის ძალა ტოლია მატარებლის წინააღმდეგობის ძალებისა.

$$F_{\text{საან.}} = m_{\text{ლ}} g(W'_0 + i_{\text{ს.ქ}}) + m_{\text{ა}} g(W''_0 + i_{\text{ს.ქ}}) \quad (42)$$

სადაც  $F_{\text{საან.}}$  – ლოკომოტივის საანგარიშო წევის ძალაა, ნ, რომელიც აიღება წევის გაანგარიშების წესებიდან.

$i_{\text{ს.ქ}}$  – საანგარიშო ქანობია (მრუდის გათვალისწინებით) %.

ამ განტოლებიდან ვპოულობთ შემადგენლობის მასას, ტ,

$$m_{\text{ა}} = \frac{F_{\text{საან.}} - m_{\text{ლ}} g(W'_0 + i_{\text{ს.ქ}})}{(W''_0 + i_{\text{ს.ქ}})g} \quad (43)$$

საანგარიშო ქანობზე ელმავლებისათვის  $R < 800\text{მ}$  და თბომავლებით-სათვის მრუდის არსებობისას, საანგარიშო წევის ძალა მცირდება საანგარიშო ჩაჭიდების კოეფიციენტის შესაბამისად, რომელიც ფასდება  $K_{\text{საან.}}$ .

ჩაჭიდების კოეფიციენტის შემცირების გათვალისწინებით საანგარიშო და რთულ ქანობზე რამდენიმე მრუდის მოძრაობისას, რომლებიც განლაგებულია გზის გასწორებულ უბანზე, როგორც წესი 2-3 კმ, აუცილებელია განისაზღვროს ლოკომოტივის წევის ძალის ეკვივალენტური შემცირების კოეფიციენტი. [1]

$$K_{\text{საან.}} = \sum K_{\text{ბ. } i} S_{\text{საან. } i} / S_{\text{ა}}$$

თუ მატარებელი მოძრაობს პატარა გავრცელების მქონე ქანობზე და სიჩქარის დამყარება არ მიიღწევა, მაშინ მატარებლის მასა განისაზღვრება შემდეგი ფორმით. იღებენ მცირე ციცაბო ქანობს, მაგრამ დიდი გავრცელებისას და (43) ფორმულით საზღვრავენ მატარებლის წონას, შერმდგომ შემადგენლობას ამოწმებენ უდიდეს ციცაბო ქანობზე გავლაზე, კინეტიკური ენერგიის შემოწმებით ანალიზურად ან გრაფიკული მეთოდით. იმის გამო, რომ სიჩქარე, რომლითაც ის უახლოვდება ამ ქანობს, უცნობია, გაანგარიშება წარმოებს იმ ადგილიდან სადაც სიჩქარე ცნობილია: გასაჩერებელი ადგილიდან, სიჩქარის შეზღუდვის ადგილამდე და ა.შ.

ანალიზური მეთოდით საზღვრავენ მანძილს, რომელსაც გადის მატარებელი მას შემდეგ, რაც შეიცვლება სიჩქარე იმ ნიშნულამდე, რომლითაც ის მიუახლოვდება უდიდეს საანგარიშო ქანობს.

(კინეტიკური ენერგიის გათვალისწინებით)

$$S = \sum S_i = \sum \frac{4,17(V_{\text{საწი}}^2 - V_{\text{დასი}}^2)}{(f_k - W_k)i} \quad (44)$$

სადაც  $V_{\text{საწი}}$ ,  $V_{\text{დასი}}$  – სიჩქარეა შესაბამისად ინტერვალის დასაწყისსა და დასასრულში კმ/სთ;

$S_i$  – მანძილია, რომელსაც გადის მატარებელი  $V_{\text{საწი}}$  და  $V_{\text{დასი}}$  სიჩქარის დროს მ;

$(f_k - W_k)$  – საშუალო ხვედრითი ამჩქარებელი ძალაა, რომელიც მოქმედებს  $V_{\text{საწი}} - V_{\text{დასი}}$  სიჩქარის ინტერვალში ნ/კნ.

ანგარიშის სიზუსტის ასამაღლებლად აუცილებელია  $V_{\text{საწი}} - V_{\text{დასი}}$  ავიდოთ არაუმეტეს 10 კმ/სთ. თუ  $S$  მანძილს მონაკვეთების ჯამი ტოლი იქნება უდიდესი ქანობის, ან გადაატარებებს მას, მატარებელი შეძლებს მის გავლას, შესაბამისად გაანგარიშებული მატარებლის მასა მოცემულ მონაკვეთზე დამყარებულია. იმ შემთხვევაში, როცა  $S$  აღმოჩნდება უდიდეს ქანობის სიგრძეზე ნაკლები გეიხდება მატარებლის მასის შემცირება და შემცირებული მატარებლის შემოწმება უდიდესი ქანობის გავლაზე. ასე შერჩევის მეთოდით პოულობენ მატარებლის დასაშვებ მასას. [17]

$m_{\text{კ}}$  მატარებლის მასის გრაფიკული მეთოდით განსაზღვრისას მიმართავენ (43) იმ ქანობისათვის, რომლის სიდიდეც უდიდეს ქანობზე ნაკლებია.  $m_{\text{კ}}$  მასისათვის საზღვრავენ ხვედრით ამჩქარებელ ძალებს წვეისას და შემდგომ აგებენ  $V(S)$ , იმ მასიდან დაწყებული, როცა ცნობილია მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე. თუ უდიდეს ქანობზე სიჩქარე არ იქნება საანგარიშოზე ნაკლები  $V_{\text{საან}}$ . მატარებელი შეიძლება გატარდეს უბანზე. თუ აღმართის ბოლოს ის აღმოჩნდება  $V_{\text{საან}}$ . ნაკლები, აუცილებელია შემადგენლობის მასის შემოწმება და ზემოთ აღნიშნულის განმეორება.

მატარებლის მასის შემოწმება ადგილიდან დაძვრის და სადგურის ლიანდაგებში ჩატევის პირობით წარმოებს შემდეგი გზით:

პირველ შემთხვევაში აუცილებელია განვსაზღვროთ მოძრაობის ხვედრითი წინააღმდეგობის ძალის მნიშვნელობა მატარებლის დაძვრისას იგი განისაზღვრება შემდეგი ემპირული ფორმულით:

სრიალა საკისრების შემთხვევაში



$$W_{\text{დად.სრ.}} = \frac{142}{m_{\text{ვ.ლ}} + 7} \quad (45)$$

გორგოლაჭიანი საკისრების დროს

$$W_{\text{დად.გ.}} = \frac{28}{m_{\text{ვ.ლ}} + 7} \quad (46)$$

მატარებლის შემადგენლობის მაქსიმალური მასის მნიშვნელობა, რომლის დაძვრაც ძალუძს ლოკომოტივს განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$m_{\text{შ.დად.}} = \left( \frac{F}{(W_{\text{დად.}} + i)g} \right) - m_{\text{ლ}} \quad (47)$$

სადაც  $m_{\text{შ.დად.}}$  – შემადგენლობის მასაა, რომელიც ლოკომოტივს შეუძლია დაძვრას ადგილიდან (დაძვრის პირობით), ტ;

$F$  – ლოკომოტივის ადგილიდან დაძვრის დროს წევის ძალაა ნ; რომელიც აიღება წევის გაანგარიშების წესებიდან.

$g$  – თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა, რომელიც ტოლია 9,81 მ/წმ<sup>2</sup>;

$i$  – ქანობი; რომელზეც ხორციელდება მატარებლის დაძვრა %;

$m_{\text{ლ}}$  – ლოკომოტივის მასაა, ტ;

$m_{\text{ვ.ლ}}$  – ვაგონის ღერძზე მოსული მასაა ტ.

თუ შემადგენლობის მასა გაანგარიშებულია ადგილიდან დაძვრის პირობით, გამოვა ნაკლები საანგარიშო ქანობის მასაზე ( $m_{\text{შ.დად.}} < m_{\text{შ}}$ ), მაშინ ლოკომოტივი ვერ შეძლებს დაძვრას შემადგენლობა. ამ შემთხვევაში აუცილებელია მოცემულ პუნქტზე არ დაგუშვათ მატარებლის გაჩერება ან დაძვრისათვის გამოვიყენოთ ორი ლოკომოტივი.

მატარებელი სადგურში უნდა გაჩერდეს ისე, რომ რკინიგზის ნორმალური ფუნქციონირება იქნას შენარჩუნებული, ანუ შემადგენლობა უნდა განლაგდეს სადგურის ღიანდაგებში, რომელიც სტანდარტიზირებულია წევის გაანგარიშების წესებით (720, 850, 1050, 1250 მ). [11]

შემადგენლობის სიგრძე, რომელიც შეიძლება დავიკავოთ სადგურის ღიანდაგებში სავაგონო შემადგენლობით განისაზღვრება:

$$l_{\text{შემ.}} = l_{\text{ს}} - n_{\text{ლ.}} l_{\text{ლ.}} - 10 \text{ მ} \quad (48)$$

სადაც  $l_{\text{ლ}}$  – ლოკომოტივის სიგრძეა, მ;

$n_{\text{ლ}}$  – ლოკომოტივების რაოდენობა ;

მატარებლის რეალური სიგრძე გამოითვლება:

$$l_{\text{გ}} = \sum n_i l_i; \text{ მ.}$$

შემაღგენლობაში თითოეული ტიპის ვაგონის რაოდენობა

$$n_i = \frac{m_{\text{გ}}}{m_{\text{გ},i}} \alpha_i \quad (49)$$

სადაც  $m_{\text{გ}}$  – მოცემული ტიპის ვაგონის საშუალო მასაა, ტ;

$\alpha_i$  – მასური წილია.

თუ მატარებლის სიგრძე გამოვა სადგურის ლიანდაგების სიგრძეზე მეტი, აუცილებელია მატარებლის სიგრძის შემცირება.

### 2.1.3 სამუხრუჭო ანგარიში

#### ძირითადი ცნობები და ამოსავალი მონაცემები

სამუხრუჭო მოწყობილობების მიერ შექმნილი სამუხრუჭო ძალა ემსახურება მატარებლის გაჩერებას განსაზღვრულ ადგილებში, სიჩქარის მუდმივობის შენარჩუნებას ციკაბო ქანობზე და სიჩქარის შემცირებას იმ მონაკვეთებთან მიახლოვებისას, სადაც სიჩქარე შერჩეულია.

დამუხრუჭება, რომელიც მიზნად ისახავს მატარებლის გაჩერებას და გამოიყენება ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებში, იწოდება სამომსახურედ.

$a_{\text{ს}}$  შენელება სამომსახურედ დამუხრუჭებისათვის სატვირთო და შორეული სამგზავრო მატარებლებისათვის დგინდება უპირატესად საექსპლუატაციო მოსაზრებიდან მისვლის პროფილის და გასაჩერებელი პუნქტის გათვალისწინებით. მოკლე გადასარბენებზე მოძრაობისას საგარეუბნო და მეტროპოლიტენის შემაღგენლობისათვის  $a_{\text{ს}}$  შენელების არჩევა ეფუძვნება ტექნიკურ-ეკონომიკურ გამოთვლებს. დაახლოებით  $a_{\text{ს}}$  საშუალო მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილ 3. -ში.

სამუხრუჭო მოწყობილობების მიერ შექმნილი სამუხრუჭო ძალის  
 $a_k$  შენელების არჩევა

მატარებლის ტიპები	$a_k$ მ/წმ <sup>2</sup>
სატვირთო	0,1 0,4
სამგზავრო (შორს მიმავალი)	0,3 0,6
საგარეუბნო ელ.	0,5 0,8
მატარებელი	0,7 1,0

გარდა ამისა აუცილებელია, რომ სამუხრუჭო მოწყობილობები ასევე აჩერებდნენ მატარებელს მოცემულ სამუხრუჭო მონაკვეთზე ექსტრემალური დამუხრუჭებისას ან ნიშანზე გაჩერებისას.

ექსტრემალური დამუხრუჭება, ემსახურება ავარიების და უბედური შემთხვევების თავიდან აცილებას. იგი წარმოადგენს მატარებლის უსაფრთხო გადაადგილების საშუალებას.

ექსტრემალური დამუხრუჭების მოთხოვნა შეიძლება გაჩნდეს მატარებლის მოძრაობისას ნებისმიერ დროს, გზის ნებისმიერ მონაკვეთში.

ამიტომ უდიდესი ძალის დროს, რომელიც შეიძლება წარმოქმნას მატარებლის სამუხრუჭო მოწყობილობებმა, აუცილებელია მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე შეიზღუდოს ისე, რომ გზის ყოველ მონაკვეთზე უმცირესი სამუხრუჭო მანძილი არ აღემატებოდეს საანგარიშო მინიმალურ  $l_{k.ს.}$  ან პირიქით, მაღალი სიჩქარით მოძრაობისას, სამუხრუჭო მოწყობილობები უზრუნველყოფდნენ მატარებლის გაჩერებას გზის მონაკვეთზე, რომელიც არ აღემატება  $l_k$  [11;18].

მუხრუჭებში შთაინთქმება კინეტიკური ენერგია, რომელიც ტოლია  $\frac{mv^2}{2}$ , სამუხრუჭო მანძილი მით უფრო დიდია, რაც მეტია მასა და განსაკუთრებით მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე, ვინაიდან და რადგანაც

$$B S_k \approx \frac{mv^2}{2}$$

ამიტომ სამუხრუჭო მოწყობილობების სიმძლავრის ზრდა საშუალებას იძლევა გავზარდოთ მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე უსაფრთხოების მოთხოვნის გათვალისწინებით. სამუხრუჭო მოწყობილობების მოცემული სიმძლავრის დროს შეიძლება დაეუშვათ იმდენად დიდი სიჩქარე, რამდენადაც დიდი მანძილი, რომელიც მემანქანებს ეძლევათ მატარებლის გაჩერებისათვის და რამდენადაც ციცაბოა აღმართი მოცემულ გზის მონაკვეთზე. პრაქტიკულად სამუხრუჭო ანგარიშები ტარდება მხოლოდ დადმართებისათვის.

უდიდესი დასაშვები სამუხრუჭო მანძილი ექსტრემალური დამუხრუჭებისას დგინდება წვეის გაანგარიშების წესებით ავტოდამუხრუჭების მქონე მატარებლებისათვის საანგარიშო სამუხრუჭო მანძილის სიგრძე შეადგენს დაახლოებით 800მ. დღესდღეობით ანგარიშები ყველაზე ხშირად ტარდება 1000-1200 მ-ზე. [11]

საანგარიშო სამუხრუჭო მანძილი  $S_{ს.ს.}$  ტოლია რეალური სამუხრუჭო მანძილის  $S_{ს.}$  და მოსამზადებელი მანძილის  $S_{მოს.}$  (რომლისთვისაც საჭიროა  $t_{მოს.}$  დრო) – ჯამისა.

$$S_{ს.ს.} - S_{მოს.} = S_{ს.} \quad (50)$$

დაახლოებით მოსამზადებელი მანძილი  $l_{მოს.}$  განისაზღვრება მატარებლის მუდმივი სიჩქარით გავლისას პირობიდან, რომელიც ტოლია  $V_{ს.}$  დამუხრუჭების საწყისი სიჩქარისა.

$$S_{ს.ს.} = \frac{1}{\zeta} v_{ს.} t_{მოს.} \quad (51)$$

წვეის გაანგარიშების წესების თანახმად რეკომენდირებულია მოსამზადებელი დროის შემდეგი მნიშვნელობები  $t_{მოს.}$  [წმ]

სატვირთო შემადგენლობისათვის ავტომატური მუხრუჭებით 200 ღერძის და ნაკლების დროს:

$$t_{მოს.} = 7 - \frac{10 i_c}{1000 \varphi_{ს.} g} \quad (52)$$

სატვირთო შემადგენლობისათვის 200 ღერძი და მეტის დროს ავტომატური მუხრუჭების შემთხვევაში:

$$t_{\text{მოს.}} = 10 - \frac{15 i_c}{1000 \varphi_{\text{ს}} \vartheta}$$

ნებისმიერი სიგრძის სატვირთო შემადგენლობის დროს ელექტრო პნევმატური დამუხრუჭების შემთხვევაში

$$t_{\text{მოს.}} = 2 - \frac{3 i_c}{1000 \varphi_{\text{ს}} \vartheta}$$

სამგზავრო მატარებლებისათვის მარტო ლოკომოტივებისათვის პნევმატური მუხრუჭების შემთხვევაში

$$t_{\text{მოს.}} = 4 - \frac{5 i_c}{1000 \varphi_{\text{ს}} \vartheta} \quad (53)$$

სამგზავრო მატარებლისათვის ელ. პნევმატური მუხრუჭებით  $t_{\text{მოს.}} = 2$  წმ.

ხელის მუხრუჭის შემთხვევაში  $t_{\text{მოს.}} = 60$  წმ

ამ ფორმულაში  $i_c$  – ქანობის ელემენტის სიდიდეა, რომლისთვისაც ტარდება სამუხრუჭო ანგარიში.

$\vartheta$  – უდიდესი საანგარიშო სამუხრუჭო კოეფიციენტი ექსტრემალური დამუხრუჭების რეჟიმის დროს.

$\varphi$  – ხახუნის საანგარიშო კოეფიციენტი მაქსიმალური სიჩქარის დროს თვალის ქიმსა და სამუხრუჭო ხუნდს შორის დამუხრუჭების დაწყების მომენტში არსებული სიჩქარის დროს.

ელექტრო პნევმატური დამუხრუჭების დროს ორიენტირებისათვის მიღებულია  $t_{\text{მოს.}} = 55$  წმ

(52) და (53) ფორმულებში მეორე წევრები მოყვანილია იმიტომ, რომ დაახლოებით გათვალისწინებულ იქნეს მატარებლის სიჩქარის ცვლილება მოსამზადებელი დროისას, გორვის რეჟიმში  $i_k$  ქანობზე მოსამზადებელ სამუხრუჭო მანძილზე.

თუმცა მაქსიმალური დასაშვები სიჩქარით ქანობზე მოძრაობისას, ასეთი შესწორების აუცილებლობა არ არსებობს, რადგანაც მატარებელს აუცილებლად წაამუხრუჭებენ, რათა სიჩქარემ მოცემულ ქანობის ელემენტზე მოძრაობის დასაშვებ სიჩქარეს არ გადააჭარბოს.

## 2.1.4 სამუხრუჭო ამოცანის ტიპები

სამუხრუჭო მანძილის  $S_{ს.ს}$  სიგრძე დამოკიდებულია სამუხრუჭო მანძილზე, რომელიც მოცემული ხუნდების ტიპებიდან გამომდინარე ხასიათდება სამუხრუჭო კოეფიციენტით  $\vartheta$  სამუხრუჭო სიჩქარით  $V_{ს}$  და  $i$  ქანობის სიდიდით. რადგანაც ოთხივე კოეფიციენტი  $i_{ს}$ ,  $V_{ს}$ ,  $\vartheta_{ს}$  და  $i$  უშუალოდ დაკავშირებულია ერთმანეთთან, სამუხრუჭო ანგარიშის საფუძველზე უნდა გადაწყდეს 4 ტიპის ამოცანა. [19]

ა) დამუხრუჭების დაწყების სიჩქარის  $V_{ს}$  დასაშვები მნიშვნელობა მოცემული ქანობის,  $\vartheta_{ს}$  სამუხრუჭო კოეფიციენტის და  $S_{ს}$  სამუხრუჭო მანძილის შემთხვევაში;

ბ) სამუხრუჭო კოეფიციენტი  $\vartheta_{ს}$  მოცემული  $S_{ს.ს}$ , და  $i$  შემთხვევაში;

გ) სამუხრუჭო მანძილი  $S_{ს.ს}$  ცნობილი სამი სიდიდის მიხედვით;

დ)  $i$  ქანობის მოცემული  $S_{ს.ს}$ ,  $\vartheta_{ს}$  და  $V_{ს}$  შემთხვევაში.

წვეის გაანგარიშებაში უფრო ხშირად საჭირო ხდება გადავჭრათ „ა“ და „ბ“ პუნქტებში მოყვანილი პირობა.

განვიხილოთ სამუხრუჭო ამოცანების გადაწყვეტის საერთო საფუძვლები.

გამოვიყენოთ მოძრაობის განტოლება

$$v \frac{dv}{ds} = \zeta' f_{სგ.};$$

სადაც 
$$F_{სგ.} = \frac{F}{G}$$

სამუხრუჭო რეჟიმისათვის  $f = -(b_0 + i)$  -ის ჩასმით

$$v dv = -\zeta' (b_0 + i) ds \quad (54)$$

(54) განტოლების ინტეგრირებით  $V_{ს}$  – სიჩქარით ცვლილების ფარგლებში და 0-დან  $S_{ს.ს} - S_{მო.ს} = S_{ს}$  მანძილის ფარგლებში მივიღებთ:

$$v_{ს}^2 = 2\zeta' \int_0^{S_{ს}} (b_0 + i) ds \quad (55)$$

ახლა სამუხრუჭო მანძილის  $S_b$  ვიპოვოთ შემანელებელი ძალების საშუალო მნიშვნელობა.

$$(b_0 + i) = \frac{1}{S} \int_0^{S_b} (b_0 + i) ds$$

და ჩავსვათ (55) მარჯვენა ნაწილში

$$v_b^2 = s \zeta' (b_0 + i)_{\text{ს.შ.}} S_b \quad (56)$$

გავითვალისწინებთ რა  $b_0 = 1000g\varphi + W_{o_b}$  და მხედველობაში მივიღებთ (50) და (51)–ს (54) განტოლებას წარმოვადგენთ შემდეგი სახით:

$$v_b^2 = 2\zeta \left[ 1000g\varphi_k + W_{o_b} + i \right]_{\text{ს.შ.}} \left( S_{\text{ს.ს.}} - \frac{1}{\zeta''} v_b t_{\text{მ.ს.}} \right) \quad (57)$$

მიღებული განტოლება (57), რომელიც საერთო სახით იძლევა კავშირს  $S_{\text{ს.ს.}}$ ,  $V_b$ ,  $g$  და  $i$ –ს შორის, შეიძლება იყოს ამოსავალი ნებისმიერი სახის სამუხრუჭო ამოცანის გადასაწყვეტად, თუმცა ზუსტი ამონახსნის პოვნა ამ განტოლების მეშვეობით ძნელდება იმით, რომ როგორც  $\varphi_{\text{ს.}}$ , ისე  $\varphi_k$  დამოკიდებულია სიჩქარეზე, მათი საშუალო მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის, საჭიროა განისაზღვროს მანძილიდან, ამიტომ სამუხრუჭო ამოცანებს ჩვეულებრივ წყვეტენ გრაფიკული მეთოდით ან ანალიზური მიახლოებითი მეთოდით. [19;20]

წვევის გაანგარიშების წესების თანახმად სატვირთო მატარებელში არაუმეტეს 15% ციცაბო ქანობისა ნებადართულია მხედველობაში არ მივიღოთ ლოკომოტივის სამუხრუჭო ძალა და მისი წონა. სხვა დანარჩენ შემთხვევაში სამუხრუჭო ძალა და წონა ითვალისწინება. [11]

სამომსახურეო დამუხრუჭების ანგარიშისათვის სატვირთო და სამგზავრო მატარებლებისათვის  $g$  სამუხრუჭო კოეფიციენტი რეკომენდებულია მივიღოთ ექსტრემალური დამუხრუჭების ნახევრის ტოლად, ელექტრო მატარებლისათვის 0,8 უდიდესი მნიშვნელობაა.

### 2.1.5. სიჩქარის უდიდესი დასაშვები მნიშვნელობის განსაზღვრა.

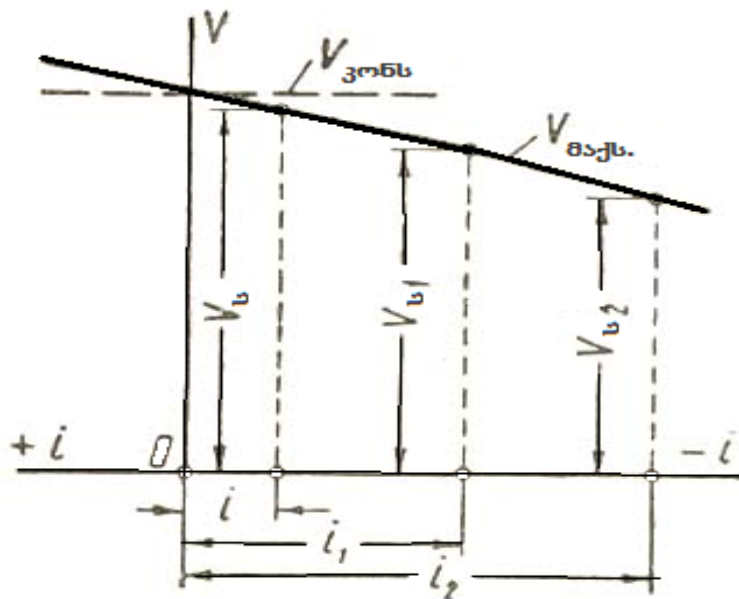
$i$  ქანობზე სამუხრუჭო ანგარიშებით, უდიდესი სიჩქარის განსაზღვრა, მიეკუთვნება სამუხრუჭო ამოცანის „ა“ პუნქტს. მისი გადა-

აგებას იწყებენ  $O''$  სამუხრუჭო მანძილის ბოლოდან  $V = 0$  სიჩქარის დროს შემდგომ სამუხრუჭო მანძილის დასაწყისიდან აგებენ მოსამზადებელი მანძილის და სიჩქარის დამოკიდებულების მრუდს  $S_{\text{მოს.}} = f(v)$  როცა  $t_{\text{მოს.}} = \text{const}$ , როგორც, მაგალითად, სამგზავრო ვაგონებში ელექტროპნევმატური მუხრუჭის დროს, ეს დამოკიდებულება წრფით, რომელსაც ატარებენ შემდეგნაირად. წერტილიდან, რომელიც პასუხობს  $V$  სიჩქარეს მოსახერხებელია  $100 \text{ კმ/სთ}$  გააგლებენ მონაკვეთს, რომელიც გამოსახულია  $m_s$  მაშტაბში, მოსამზადებელი მანძილი  $s_{\text{მოს.}} = \frac{1}{\zeta''} v t_{\text{მოს.}}$  და

64



დასაწყისს, რომელიც იქნება უდიდესი  $V_{\max}$ , რომელიც დასაშვები იქნება მატარებლის მოძრაობისას  $i$  ქანობზე. გავიმეორებთ რა ასეთი აგების მეთოდს სხვადასხვა  $i_1$  და  $i_2$  ქანობებისთვის (იხ. ნახ. 10), შეიძლება განვსაზღვროდ  $V_b$ ,  $V_{b1}$ ,  $V_{b2}$ ... მიღებული სიჩქარეების მეშვეობით მოძრაობის სიჩქარის მრუდის შეზღუდვები სხვადასხვა ქანობზე  $V_{\max} = f(i)$ . თუ მომზადების დრო გამოითვლება (52), (53) ფორმულებით, მაშინ ისინი დამოკიდებული იქნება როგორც  $i$  ქანობზე, ასევე საწყის დამუხრუჭების სიჩქარეზე  $V_b$ , რამდენადაც ისინი მოქმედებენ  $\phi_{kp}$ , ამიტომ ყოველ  $i$  ქანობის მნიშვნელობას შეესაბამება ცალკეული დამოკიდებულება  $i_{b.ს} = f(V_b)$ . უკვე არაწრფივი, რომელსაც ანგარიშობენ (51) ფორმულით სხვადასხვა  $V_b$  -სათვის. ამოხსნის შემდგომი გზა მსგავსია ზემოდ მოყვანილი აღწერისა.



ნახ. 11. ქანობის განსაზღვრულ ფარგლებში დამუხრუჭების დროს უდიდესი დასაშვები ( $V_{\max}$ ) სიჩქარის შეზღუდვა კონსტრუქციული ( $V_{\text{კონს.}}$ ) სიჩქარით

შეიძლება აღმოჩნდეს, რომ უდიდესი სიჩქარეები, რომელიც დასაშვებია დამუხრუჭებისათვის ქანობის განსაზღვრულ ფარგლებში

კონსტრუქციულ სიჩქარეზე მაღალი ნახ. 11.  $V_{\text{კონსტ.}}$  -ით შეზღუდვა აღნიშნულია ჰორიზონტალური წრფით.

### 2.1.6. სამუხრუჭო კოეფიციენტის განსაზღვრა

თუ ცნობილია  $S_{\text{ს.ს}}$  და  $i$ -ს მნიშვნელობები და საჭიროა ვიპოვოთ  $S_{\text{ს.ს}}$  სამუხრუჭო კოეფიციენტი, რომელიც უზრუნველყოფს მოცემული  $V_{\text{ს}}$  და  $i$  სიჩქარის დროს უსაფრთხო მოძრაობას, მაშინ ასეთი ამოცანის გადასაწყვეტად ყველაზე მარტივია გრაფიკული ინტერპოლაციის მეთოდის გამოყენება. ამისათვის  $\varphi_1, \varphi_2 \dots$  სამუხრუჭო კოეფიციენტებია საჭირო და თითოეული მათგანისათვის ანგარიშობენ შემანელებელ ძაღას  $b_0 = f(v)$  (ნახ. 12. ა) შემდგომში ზუსტად ისე, როგორც პირველი სამუხრუჭო ამოცანისას აგებენ  $V = f(s)$  სამუხრუჭო რეჟიმისათვის და ასევე  $S_{\text{ს.ს}} = f(V_{\text{ს}})$  ყოველი აღებული  $\varphi$  მნიშვნელობისათვის. შესაბამისი მრუდების  $V = f(s)$  და  $S = f(V_{\text{ს}})$  წერტილების ორდინატები განისაზღვრება დამუხრუჭების საწყისი სიჩქარეები  $V_1, V_2, V_3 \dots$  და  $\varphi_1, \varphi_2 \dots$  კოეფიციენტისათვის.

ამ მნიშვნელობებით აგებული მრუდის  $\varphi = f(V_{\text{ს}})$  მიხედვით ვპოულობთ  $\varphi$  მონაკვეთის მოცემულ  $V_{\text{ს}}$  სიჩქარისათვის, როგორც ნაჩვენებია ნახ. 13-ზე.

### 2.1.7. სამუხრუჭო ანგარიშის მიახლოებითი ანალიზური მეთოდი

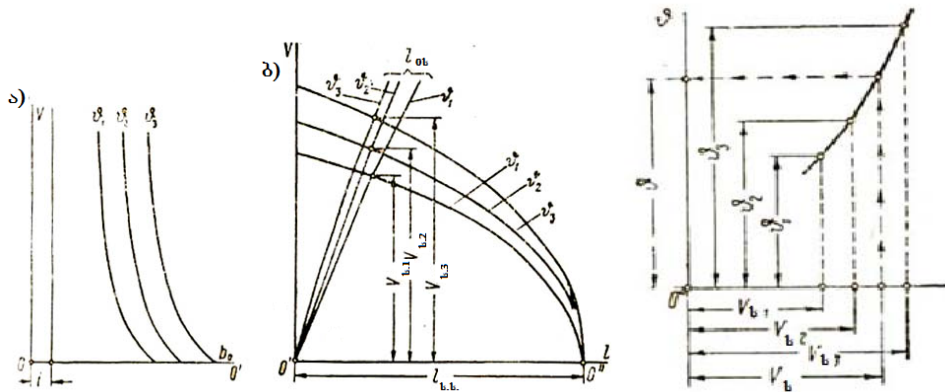
თუ განვსაზღვრავთ შემანელებელი ძაღების  $(b_0 + i)_{\text{საშ.}} = (b + W_{0g} + i)_{\text{საშ.}}$  საშუალო მნიშვნელობებს მანძილის მიხედვით, შესაძლებელია უშუალოდ გამოვიყენოთ სამუხრუჭო ამოცანის გადასაწყვეტად (57) განტოლება.

როგორც ნაჩვენებია უმრავლესი გამოთვლები  $V = f(s)$  მრუდისა გაჩერებამდე, სხვადასხვა სიჩქარის ფუნქციაში ხვედრითი შემანელებელი ძაღების მახასიათებლის საშუალო მნიშვნელობების პოვნა მანძილის მიხედვით სავსებით ზუსტად შესაძლებელია ვუპოვოთ

$b_0 = f(V)$  მრუდის მიხედვით  $V_{\text{ს.ს.შ.}}$  სიჩქარისათვის, რომელიც ახლოსაა 0,7, სამუხრუჭო სიჩქარესთან  $V_{\text{ს.ს.შ.}}$ -სთან შესაბამისად

$$V_{\text{ს.ს.შ.}} = 0.7 V_{\text{ს.}} \quad (58)$$

რადგანაც  $V = f(s)$  მრუდი დამუხრუჭებისას ახლოსაა პარაბოლასთან, რომლის დროსაც  $V_{\text{ს.ს.შ.}} = 0.67 V_{\text{ს.}}$



ნახ. 12. სამუხრუჭო კოეფიციენტების განსაზღვრა სამუხრუჭო მანძილის მიხედვით

ნახ. 13. სამუხრუჭო კოეფიციენტების განსაზღვრა სამუხრუჭო მანძილის მიხედვით

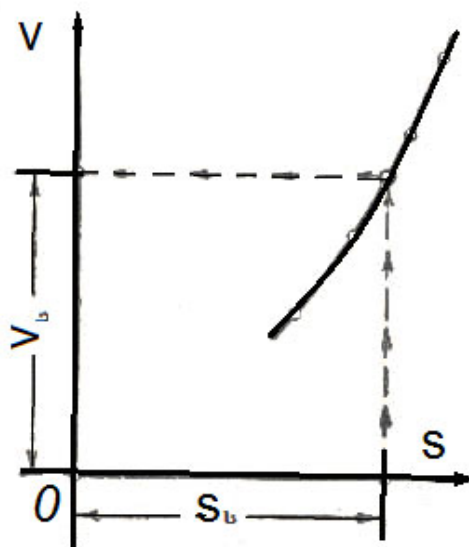
ვითვალისწინებთ რა  $b_0 = 1000 \varphi_k + W_{\text{ოგ.}}$ ,  $\varphi_k$  და  $W_{\text{ოგ.}}$  დამოკიდებულია სიჩქარეზე, განტოლების მისაღებად, რომელიც საშუალებას იძლევა სამუხრუჭო ამოცანები მეორე, მესამე და მეოთხე ტიპებისათვის უნდა ვიპოვოთ  $\varphi_{k\text{ს.ს.შ.}}$  და  $W_{\text{ოგ.ს.ს.შ.}}$  მნიშვნელობები. შესაბამისი სიჩქარეების 0,7V ჩასმით (57) ტოლობაში. მართლაც (57)-ით ადვილად წყდება  $V$ ,  $S_{\text{ს.ს.}}$  და  $i$  დამოკიდებულებები.

$$\vartheta = \frac{1}{1000 \varphi_{k\text{ს.ს.შ.}}} \left[ \frac{V_{\text{ს.}}^2}{2\zeta' \left( S_{\text{ს.ს.}} - \frac{1}{\zeta''} V_{\text{ს.}} t_{\text{მო.ს.}} \right)} - (W_{j\text{ოგ.ს.ს.შ.}} + i) \right] \quad (59)$$

$$S_{\text{ს.ს}} = \frac{V_{\text{ს}}^2}{2\zeta'(1000g\varphi_{\text{სსაშ}} + W_{\text{ოგ.საშ}} + i)} + \frac{1}{\zeta''} V_{\text{ს}} t_{\text{მო.ს.}} \quad (60)$$

$$i = \frac{V_{\text{ს}}^2}{2\zeta' \left( S_{\text{ს.ს}} - \frac{1}{\zeta''} V_{\text{ს}} t_{\text{მო.ს.}} \right)} - (1000g\varphi_{\text{სსაშ}} + W_{\text{ოგ.საშ}}) \quad (61)$$

(57) განტოლების გამოყენება პირველი სამუხრუჭო ამოცანის გადაწყვეტისათვის  $V_{\text{ს}}$ -ს მოძებნა  $S_{\text{ს.ს}}$ ,  $g$  და  $i$  მონაცემების საშუალებებით – მიღის  $V_{\text{ს}}$  მეოთხე რიგის განტოლებამდე, უდიდესი კოეფიციენტებით. ამიტომ გაცილებით მარტივია ამ ამოცანის გადაწყვეტა გრაფიკული ინტერპოლაციის მეთოდით, შემდეგი თანმიმდევრობით:  $V_{\text{ს1}}$ ,  $V_{\text{ს2}}$ ,  $V_{\text{ს3}}$ ... დამუხრუჭების დაწეების სიჩქარის სამი-ოთხი მნიშვნელობის მეშვეობით (60) ფორმულის გამოყენებით, იანგარიშება სამუხრუჭო მანძილი  $S_{\text{ს.ს1}}$ ,  $S_{\text{ს.ს2}}$ ,  $S_{\text{ს.ს3}}$ ... და აგებენ  $V_{\text{ს}} = f(S_{\text{ს.ს}})$  მრუდს ამის შემდგომ  $V_{\text{ს}}$  მონაკვეთს პოულობენ გრაფიკული მეთოდით მოცემული სამუხრუჭო  $S_{\text{ს.ს}}$  მანძილისათვის (ნახ. 14.)



ნახ. 14.  $V_{\text{ს}} = f(S_{\text{ს.ს}})$ ; დამუხრუჭების დაწეების სიჩქარის მნიშვნელობის გრაფიკული დამოკიდებულება სამუხრუჭო მანძილზე

შედგების სხვაობა, რომელიც მიიღება მიახლოებითი ანალიზური, გრაფიკული ან საანგარიშო-გრაფიკული მეთოდით, ჩვეულებრივ არ აღემატება 1-4%-ს.

## 2.2. დენის მრუდების აგება

დენით, რომელიც გადის წვეის ძრავის გრაგნილში და დროით რა დროსაც ეს დენი გადის ძრავის გრაგნილში აფასებენ წვეის ძრავის გახურებას. იმისათვის, რომ განისაზღვროს ელექტრული ენერგიის ხარჯი მატარებლის წვეისას აუცილებელია  $I_g$  დენის ცოდნა, რომელსაც მოიხმარს მუდმივი დენის ელექტრო მოძრავი შემადგენლობა (ე.მ.შ.) ან  $I_{გა}$  დენის აქტიური შემადგენელი, რომელსაც მოიხმარს ცვლადი დენის ე.მ.შ. [11;34;35]

საკონტაქტო სადენის კვეთის და უბანზე წვეის დატვირთვის ანგარიშისათვის, რომელიც ელექტროფიცირებულია ცვლადი დენის სისტემით, აუცილებელია ვიცოდეთ სრული დენი  $I_g$ , რომელსაც მოიხმარს ე.მ.შ.

ყველა ეს დენები განისაზღვრება დენის მახასიათებლებიდან, რომლებიც გვიჩვენებენ, როგორ იცვლებიან დენები მოძრაობის მიხედვით.

მუდმივი დენის ე.მ.შ.-ზე  $I_g$  დენის მნიშვნელობა განისაზღვრება ელექტრო ძრავის დენის  $I_d$  და  $P$  პარალელური შტოების რაოდენობის მიხედვით

$$I_g = P I_d \quad (62)$$

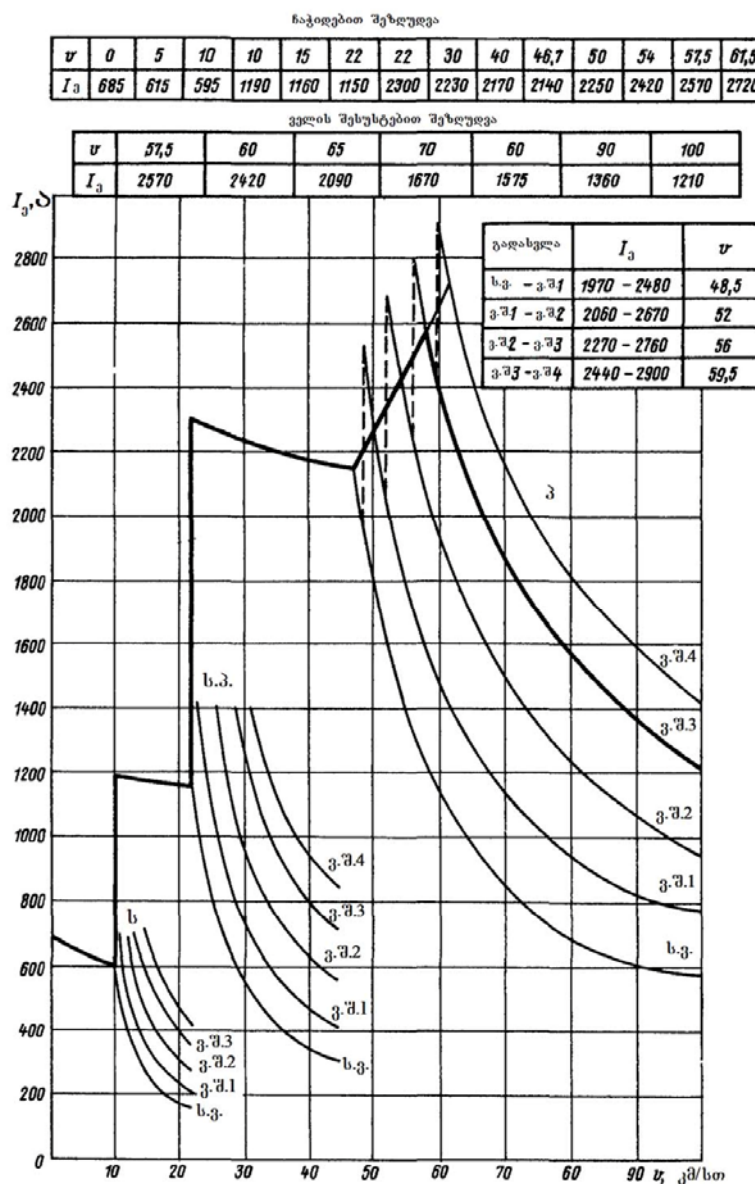
წვეის ძრავების სერიული შეერთების დროს ( $P$ ),  $P = 1$  და  $I_g = I_d$  სერიის – პარალელური შეერთების დროს (ს.პ.) ექვსდერძიან და 8 დერძიან ელმავლებს  $P = 2$  და  $I_g = 2I_d$ , პარალელური შეერთებისას (პ) ექვსდერძიანი ელექტრომავლების  $P = 3$ , ხოლო რვადერძიანი ელმავლების  $P = 4$

დენის მახასიათებელს მაგ; ВЛ10 ელექტრომავლის ნახ. 15. აგებენ წვეის ძრავის ((ს), (სპ), (პ)) შეერთებისათვის მისი სრული აღზნების და ოთხი შესუსტების საფეხურის დროს ყოველი შეერთებისას. დენის მახასიათებლების ასაგებად მიმართავენ სხვადასხვა სიჩქარეებს და

სიჩქარეების მახასიათებლებს  $V(I_d)$ -თი განსაზღვრავენ  $I_d$  დენებს, რომლებსაც ამრავლებენ მათ პარალელური შტოების რაოდენობაზე და იღებენ  $I_g$ -ს ამ სიჩქარეზე.

დენის მახასიათებლებზე დააქვთ შეზღუდვები, რომლებსაც შეესაბამება წვეის ძალის მნიშვნელობა წვეილთვლის რელსთან ჩაჭიდების დროს ან წვეის ძრავის კომუტაციის მიხედვით. [11;37]

БЛ10 ელექტრომავალზე წვეის ძალა შეზღუდულია ჭვეილთვალას რელსთან ჩაჭიდებით.



ნახ. 15. БЛ-10 ლოკომოტივის დენის მახასიათებელი

### 2.2.1. ელმავლის დენის მანძილზე დამოკიდებულების $I_g(s)$ მრუდის აგების მეთოდი

მუდმივი დენის ე.მ.შ.  $I_g(s)$  მრუდი იგება  $V(S)$  და  $I_g(V)$  საფუძველზე.  $I_g(s)$  მრუდის ასაგებად იქცევითან შემდეგნაირად:

$V(S)$  ტეხილის წერტილებს (1, 2, 3 და ა.შ. 24 წერტილამდე) იღებენ დენის მახასიათებლიდან იხ. ნახ. 16. პოულობენ,  $I_g = 685$  ა-ს როცა  $V=0$ . გადადებენ ამ დენს ნებისმიერ მასშტაბში გზის იმ ადგილას სადაც  $V=0$  როცა  $V=10$  კმ/სთ.  $I_g$  დენი იცვლება 595 დან 1190 ა (ს)-დან (ს.პ)-ზე გადასვლის დროს. ეს წერტილი გადაიზომება, სადაც  $V=10$  კმ/სთ. ასეთივე მეთოდით განსაზღვრავენ სხვა წერტილების მდებარეობასაც.

$V=22$  კმ/სთ სიჩქარის დროს წვეის ძრავებს რთავენ (ს)-დან (ს.პ)-ზე და დენი იზრდება 1150-დან 2300 ა-მდე. დენი იცვლება ნახტომისებურად ასევე, როცა რთავენ ალგზნების შესუსტებებს: (ვ.შ<sub>1</sub>), როცა  $V=48,5$  კმ/სთ 1970-დან 2480 ა-მდე (ვ.შ<sub>2</sub>) როცა  $V=52$  კმ/სთ 2060-დან 2670 ა-მდე და ა.შ. ელმავლის მუშაობას მახასიათებლის ნებისმიერ საფეხურზე თან სდევს დენის შემცირება სიჩქარის ზრდასთან ერთად. 24 წერტილში მემანქანე რთავს დენს და შემდეგ მატარებელი გადაადგილდება გორვით ( $I_g$  მცირდება ნულამდე).

თუ აღნიშნულ წერტილებს შევადერთებთ წრფეებით მივიღებთ ტეხილს, რომელიც გვიჩვენებს  $I_g$  დენის დამოკიდებულებას  $S$  გზაზე.

### 2.2.2. ელმავლის დენის დროზე დამოკიდებულების $I_g(t)$ მრუდის აგების მეთოდი

მუდმივი დენის ე.მ.შ-სათვის  $I_g(t)$  მრუდი იგება  $V(t)$  და  $I_g(V)$  მრუდების საფუძველზე.  $I_g(t)$  მრუდის აგება წარმოებს შემდეგი ფორმით:  $I_g(V)$  მრუდის ტეხილის წერტილებით პოულობენ, რა  $I_g = 685$  ა-ს, როცა  $V=0$  გადადებენ ამ დენს ნებისმიერ მასშტაბში გზის იმ ადგილას სადაც  $V=0$ , როცა  $V=10$  კმ/სთ  $I$  დენი იცვლება 595 დან 1190 ა-მდე (ს)-

დან (სპ)-ზე გადასვლის დროს. ეს წერტილები გადაიზომება, სადაც  $V=10$  კმ/სთ. ასეთივე მეთოდით განსაზღვრავენ სხვა წერტილების მდებარეობასაც.  $V=22$ კმ/სთ სიჩქარის დროს წვევის ძრავებს რთავენ (სპ)-დან (პ)-ზე და დენი იზრდება 1150-დან 2300-მდე. დენის ნახტომისებური ცვლილება ასევე ხდება, როცა რთავენ წვევის ძრავების აღგზნების შესუსტებებს: (ვ.შ.1), როცა  $V=48$ კმ/სთ 1970 დან 2480ა; (ვ.შ.2), როცა  $V=52$ კმ/სთ 2060-დან 2670 ა-მდე და ა.შ. ელმავლის მუშაობას (ს.ვ.) მახასიათებლის (ვ.შ.) ნებისმიერ საფეხურზე, თანს დევს დენის შემცირება სიჩქარის ზრდასთან ერთად როცა მემანქანე რთავს დენს, მატარებელი გადაადგილდება გორვით ( $I_g$  მცირდება ნულამდე) თუ აღნიშნულ წერტილებს შევადერთებთ წრფით მივიღებთ  $I_g$  დენის დამოკიდებულებას  $t$  დროზე. [11]

### 2.3. ელექტრული ენერგიის ხარჯის განსაზღვრა

ე.მ.შ-ს მოძრაობას ელ. ენერგია იხარჯება ძირითადი დამატებითი წინააღმდეგობის ძალების გადალახვაზე; ენერგიის ნაწილი იკარგება მუხრუჭებში მექანიკური ან რეოსტატული დამუხრუჭებისას კიდევ ერთი ნაწილი – ე.მ.შ-ზე ელ. ენერგიის გარდაქმნით (წვევის) ძრავებში, გამართველ მოწყობილობებში და ა.შ.) და იხარჯება საკუთარი საჭიროებისამებრ. ენერგიის ნაწილი იკარგება გამშვებ რეოსტატებში მუდმივი დენის ე.მ.შ-ზე.

მთლიანი ელექტრული ენერგიის ხარჯი განისაზღვრება, როგორც უბანზე, დეპოს ლიანდაგებზე მოძრაობისას, სამანევრო სამუშაოზე და საკუთარ საჭიროებაზე ელ ენერგიის დანახარჯის ჯამი. [11]

ელ. ენერგიის დანახარჯი მატარებლის მოძრაობისას განისაზღვრება გრაფო-ანალიზური მეთოდით  $I_g(S)$  ან  $I_g(t)$  მუდმივი და  $I_a(S)$  ცვლადი დენების სისტემის ელექტრომავლებისათვის და  $t(S)$  ან  $V(t)$  მრუდეების გამოყენებით.

$$A = \frac{u_{\text{ქ}} \sum I_{\text{საშ}} \Delta t_i}{60 \cdot 1000} \quad [\text{კვტ.სთ}] \quad (63)$$



სადაც  $I_{\Sigma\text{შ.ი}}$  - საშუალო დენია, ა;  $I_p(S)$  მრუდის ან  $I_p(t)$  მრუდის ყოველი წრფის მონაკვეთზე მუდმივი დენის ე.მ.შ სათვის ან  $I_a(S)$  ცვლადი დენის ე.მ.შ სათვის.

$\Delta t_i$  -  $I_{\Sigma\text{შ.ი}}$  დენის მოქმედების დროა, წთ.

$U_{\text{ქ}}$  - დენმიმღებზე ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობაა 3000 – მუდმივი და 25000ვ – ცვლადი დენის შემთხვევაში;

$I_{\Sigma}$  - აქტიური დენის მოქმედი საშუალო მნიშვნელობაა  $\Delta t$  დროის განმავლობაში (ცვლადი დენის ელექტრომაგლის დროს).

60, 1000 – წუთების საათებში და ვატ-საათების კილოვატ-საათებში გადამყვანი კოეფიციენტებია.

$A_{\Sigma}$  ელექტროენერგია საკუთარი საჭიროებისათვისაა განკუთვნილი (დამხმარე მანქანები, მართვა, განათება) განსაზღვრავენ მუშაობის დროის განმავლობაში საშუალო მოხმარებული ენერგიიდან, რომელიც  $I_{\text{წთ-ის}}$  ტოლია. მისი მნიშვნელობები მოყვანილია წ.გ.წ.-ში (БЛ10-სათვის ტოლია 2,08 კვტ.სთ/წთ).

ენერგიის დანახარჯები გათბობაზე განისაზღვრება მუშაობის სრული დროიდან ზამთრის პირობებში და საშუალოდ რეკომენდირებულია 0,07 – 0,14 კვტ.სთ/წთ. 10 ვაგონიანი ელ. მატარებლის შემთხვევაში ЭР1, ЭР2, ЭР9 გაანგარიშებიდან 2,92 კვტ.სთ/წთ. საჭიროების დროს  $A_{\text{გ}}$  ენერგიის დანახარჯს დეპოს ლიანდაგებზე მოძრაობისას ან სამანევრო მუშაობის შესრულებისას განსაზღვრავენ შემდეგი ფორმულით

$$A_{\Sigma\text{გ.}} = \alpha_{\text{გ.}} + A_{\Sigma\text{გ.}} + A_{\text{გ}} \quad (64)$$

ელ. ენერგიის ხვედრითი დანახარჯი განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$\alpha_{\text{გ.}} = \frac{\sum A \cdot 1000}{(p + Q) \cdot l} \quad (65)$$

ხვედრითი ენერგიის დანახარჯს ზომავენ კვტ.სთ/(10<sup>4</sup>ტ.კმ) ან ვტ.სთ/(ტ.კმ).

რეკუპერაციული დამუხრუჭებისას რეკუპირებულ ენერგიას აკლუბენ მოხმარებულს.

სატვირთო მატარებლებს ჩვეულებრივ გააჩნიათ ნაკლები ენერგია სხვა მატარებლებთან შედარებით – 100-200 კვტ.სთ/(10<sup>4</sup>ტ.კმ) ან 10-20 ვტ.სთ/(ტ.კმ). ყველაზე დიდი ხვედრითი ელ. ენერგიის დანახარჯი გააჩნიათ საგარეუბნო ელ. მატარებლებს, იმის გამო, რომ მათ უწევთ სადგურებზე 250-350 კვტ.სთ/(10<sup>4</sup>ტ.კმ) ან 25-35 ვტ.სთ/(ტ.კმ)

## 2.4. წვეის ძრავის შემოწმება გახურებაზე

წვეის ძრავის გრაგნილების ტემპერატურის განსაზღვრა წარმოადგენს რთულ ამოცანას. ასეთი სახის ამოცანის გადაწყვეტისას მიმართავენ თბური ველების იდეალიზაციას, თუმცა მიღებული ანალიზური ამოხსნა შორსაა რეალურისგან, რადგან წვეის ძრავი დიდი რაოდენობით ნაწილისაგან შედგება, რომლებიც განსხვავდება გეომეტრიული ფორმით, მასით, მასალით და მათში ენერგიის დანაკარგით. [33]

პრაქტიკულად ანგარიშს ატარებენ წვეის ძრავის ყველაზე საშიში ნაწილებისათვის, კოლექტორული ძრავებისათვის ღუზის ხვიებისთვის, უფრო იშვიათ შემთხვევაში ალგზნების გრაგნილებისათვის, ასინქრონული ძრავების შემთხვევაში სტატორის ხვიებისთვის და ა.შ. წვეის ძრავის გახურების ტემპერატურის ანგარიში ხორციელდება რომელიმე მიახლოებითი განსაზღვრის მეთოდით.

ყველაზე დიდი გავრცელება ჰპოვა წვეის ძრავის გახურების მეთოდმა, რომელიც ეფუძნება ერთგვაროვანი მყარი სხეულის გახურების კანონებს.

ე.მ.შ.-ის ექსპლუატაციის პირობებში აუცილებელია განისაზღვროს არა მხოლოდ მაქსიმალური ძრავის გახურების ტემპერატურა, არამედ ამასთან აუცილებელია გზის პროფილზე დადგინდეს ის მონაკვეთიც, სადაც ადგილი აქვს აღნიშნულ მოვლენას, რათა შემდგომში მოხდეს მოძრაობის რეჟიმის კორექტირება. ამისათვის საჭიროა ვიცოდეთ  $\tau(t)$  ან  $\tau(s)$  დამოკიდებულება, რომელიც განისაზღვრება ე.გ.მ-ს მეშვეობით საბოლოო გარდაქმნების პრინციპით და იანგარიშება  $\Delta t$  – ს გარკვეული ბიჯით.

წვეის ანგარიშის დროს ყოველ  $\Delta t$  ბიჯის დროს თვლიან, რომ წვეის ძრავები ხურდება უცვლელი  $I_{საშ.}$  დენის მოქმედებით (ან გრილდება  $V_{საშ.}$  სიჩქარით), ახალ  $I_{საშ.}$  დენზე გადასვლა ან ახალ ინტერვალზე  $V_{საშ.}$  სიჩქარეზე გადასვლისას თვლიან, რომ ცვლილება ხდება მყისიერად.  $\tau(t)$  მრუდის ან ანალიზურად ეკვივალენტური თბური პარამეტრების და მახასიათებლების გამოყენებით ანგარიშების წარმოებას აქვს უარყოფითი მხარე, რადგან ის არ ითვალისწინებს ძრავის სხვადასხვა ნაწილს შორის ტემპერატურის განაწილების პროცესს.

წვეის ძრავის გრაგნილების გახურების უდიდესი დასაშვები ტემპერატურის მნიშვნელობა გარემო ტემპერატურასთან შედარებით  $<40^{\circ}\text{C}$  განისაზღვრება წ.გ.წ-ში მოცემული ცხრილიდან კონკრეტული ტიპის წვეის ძრავისათვის მაგ: БЛ-10 ელექტრომავლის ТЛ-2К1 ტიპის ძრავისათვის ამავე წ.გ.წ-ის თანახმად  $130^{\circ}\text{C}$  შეადგენს.

თუ გარემოს ტემპერატურა  $t_{გ.ტ.маx} > 40^{\circ}\text{C}$  ძრავის გახურების დასაშვები მნიშვნელობის სიდიდე უნდა შემცირდეს ამდენივე გრადუსით.

გარემოს ტემპერატურად  $t_{გ.ტ.маx}$  მიიღება მეტეოროლოგიური სადგურების მრავალწლიანი დაკვირვებით (არანაკლებ 5 წელი) კონკრეტული სეზონისათვის ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობა. გახურების ანგარიშები წარმოებს ზაფხულის და ზამთრის პერიოდისათვის. ძრავის საწყისი ტემპერატურის სიდიდე ზაფხულში არ უნდა იყოს  $15^{\circ}\text{C}$ -ზე, ხოლო ზამთრის შემთხვევაში  $0^{\circ}\text{C}$  ნაკლები.

ლოკომოტივის ხანგრძლივი დგომის შემდეგ (2 საათზე მეტი) ძრავის საწყის ტემპერატურად უნდა მივიღოთ  $15^{\circ}\text{C}$ , თუ ლოკომოტივის დგომის დრო 2სთ-ის ტოლია ან კიდევ ნაკლები, საწყის ტემპერატურად უნდა მივიღოთ ლოკომოტივის დგომის ადგილამდე მისვლის ტემპერატურა, ძრავის გაციების მრუდის გათვალისწინებით.

ჩართული მობრ-ვენტილატორის შემთხვევაში გახურების დროის მნიშვნელობად უნდა მივიღოთ თბური მახასიათებლით რეკომენდებული მნიშვნელობა.

გამორთული ძრავა-ვენტილატორის შემთხვევაში ძრავის გახურების მუდმივი დროის მნიშვნელობა უნდა მივიღოთ 3-ჯერ მეტი, ვიდრე რეკომენდებული ნომინალური ძრავის დენის მნიშვნელობის დროს.

მუდმივი დენის უბნებზე ელექტრომაგლის ან ელექტრომატარებლის მოტორვაგონის დენი განისაზღვრება  $V=V(S)$  დენის მახასიათებლის გამოყენებით (იხ. ნახ. 16).

ელექტრული წევის ძრავის გრაგნილის გახურება იანგარიშება წ.გ.წ.-ს მიხედვით  $I=I(S)$  მრუდის გამოყენებით.

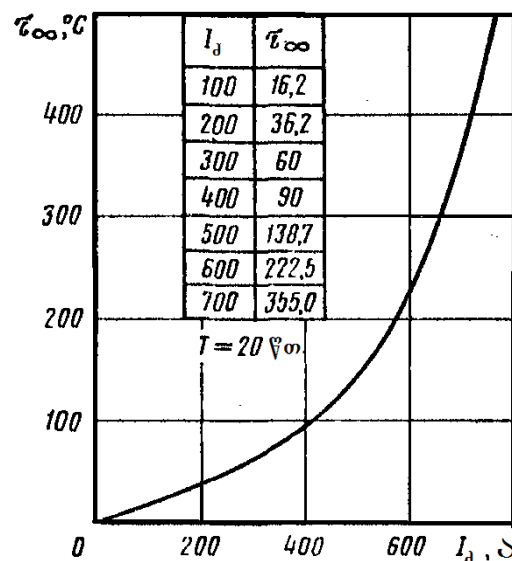
$$\tau = \tau_{\infty} \frac{\Delta t}{T} + \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right) \quad (66)$$

წევის ძრავის გაგრილება (დენის გარეშე მუშაობის რეჟიმში) განისაზღვრება:

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right) \quad (67)$$

$\Delta t$  უნდა შეირჩეს  $\Delta t / T \leq 0.1$  პირობის გათვალისწინებით. თბური პარამეტრები  $\tau_{\infty}$  და  $T$  კონკრეტული ტიპის ძრავისათვის აიღება ძრავის თბური მახასიათებლიდან.

ნომინალური ძაბვისგან განსხვავებული ძაბვის შემთხვევაში ძრავის გახურების ანგარიში ტარდება როგორც ნომინალური ძაბვის შემთხვევაში.



ნახ. 16. TLI - 2K1 წევის ძრავის საკომპენსაციო გრაგნილის თბური მახასიათებელი

## 2.5. წვევის გაანგარიშების შეთავაზებული მეთოდი

წვევის გაანგარიშებას საფუძვლად უდევს მოძრაობის არაწრფივი დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება. დღეს მისი ამოხსნის მეთოდები საკმარისად ბევრია, რადგანაც მოძრაობის განტოლებები არაწრფივია და დღემდე მსგავსი განტოლებების ამოხსნა შეუძლებელია ისეთი ფორმით, როგორც ეს ხდება წრფივი დიფერენციალური განტოლებების შემთხვევაში. ბევრი სპეციალისტი მიმართავდა და დღესაც მიმართავს ყველა ტიპის მიახლოებით (ასიმპტოტურ) მეთოდებს [8;10;11;21;22;27;28]

სხვადასხვა შეზღუდვების გამო, როგორიცაა ჩაჭიდება, წვევის ძრავის ველის შესუსტება და ა.შ. რეზულტირებული წვევის მახასიათებელი მიიღება დატეხილი და არაწრფივი, ყოველივე ეს დამატებით პრობლემებს ქმნის ამოცანის გადაწყვეტისას. ამ მიზეზით, სამწუხაროდ, დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირების ძირითად მეთოდს წარმოადგენს გრაფო-ანალიზური (საანგარიშო-გრაფიკული) მეთოდი. დღემდე ყველა სასწავლო ლიტერატურაში ძირითადი მეთოდებია, როგორც ერთადერთი და უაღტერნატივო. ჩვენი აზრით, ჩვენს საუკუნეში, როცა კომპიუტერული ტექნიკა მკვიდრდება ადამიანის მოღვაწეობის ყველა სფეროში, აუცილებელია აქცენტი გაკეთდეს ახალ მეთოდებზე თანამედროვე ე.გ.მ.-ის გამოყენებით. ამასთან ერთად აუცილებელია გვახსოვდეს, რომ ე.გ.მ.-ის საშუალებით ნებისმიერი ამოცანის გადასაწყვეტად აუცილებელია გვქონდეს საწყისი წარმოდგენა პროცესებზე. ე.ი. გვქონდეს რაღაც გადაწყვეტილება, რომლებიც საჭიროა პროგრამირებისათვის. ამ მიზეზით ჩვენს მიერ ქვემოთ შეთავაზებულია ზოგიერთი მეთოდი, რომლებიც საშუალებას იძლევა გამარტივდეს არსებული გაანგარიშების გრაფიკული მეთოდი, ასევე უფრო ზუსტი და მარტივი ანალიზური მეთოდი, რომელიც გამოთვლის სიზუსტით საკმარისია პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის. ამასთან ერთად აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ამოსავალი დიფერენციალური განტოლებების გამოყენება აბსლიტურ ერთეულებში (რაც კეთდება ასი წელია) ბევრი

პარამეტრით არაა ხელსაყრელი გამოთვლებისათვის მათ შორის ე.გ.მ-ზე.

ასე მაგალითად, დროის ერთეულში სიჩქარის და აჩქარების დამოკიდებულებისას აღნიშნულ დიფერენციალურ განტოლებებში იცვლება გარდამავალი კოეფიციენტები, რომლისთვისაც დგება სპეციალური ცხრილები.

ამ მიზეზით ძალიან რთულდება ნებისმიერი გრაფიკული და გრაფო-ანალიზური გაანგარიშების მეთოდი, რომლებიც ასევე მოითხოვს სპეციალური მასშტაბის შერჩევას, ხოლო მათი რეკომენდებული მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილის სახით (იხ. ცხრილი 2). ამ ყველაფრის თავიდან აცილება შესაძლებელია, თუ წინასწარ ვუცვლით ფორმას ამოსავალ დიფერენციალურ განტოლებას, ჩავწერთ, რა მას ფარდობით ერთეულებში, როგორც ეს კეთდება მეცნიერებისა და ტექნიკის მრავალ სფეროში.

გარდა ამისა, აღნიშნული გარდაქმნის პრინციპის გამოყენება წევის თეორიაში ამარტივებს რიგი ამოცანების გადაწყვეტის, მაგალითად მოძრაობის მრუდების აგებისას რომელიმე გადასარბენისათვის, რომელიც პასუხობს სხვადასხვა მოძრაობის სიჩქარეს, წევის ძრავების სხვადასხვა სიმძლავრეს და ა.შ. შესაძლებელს ხდის ცნობილი მიახლოებით განვსაზღვროთ მოთხოვნილი ძრავების სიმძლავრე, ავარჩიოთ საჭირო მოძრაობის რეჟიმი ნებისმიერი სხვა გადასარბენისათვის. ამ შემთხვევაში რომელიმე გადასარბენისთვის აგებული მოძრაობის მრუდი იქნება უნივერსალური ხასიათის ყველა იმ გადასარბენისათვის და მატარებლის მოძრაობის რეჟიმისათვის, რომლებსაც აქვთ ერთნაირი დამოკიდებულება მაქსიმალურ და მინიმალურ სიჩქარეებს შორის და გააჩნიათ წევის, დამუხრუჭების და გორვის რეჟიმის ტოლი დროები.

ჩვენს შემთხვევაში ფარდობით ერთეულებში გადასვლა პრინციპში შესაძლებელია განვახორციელოთ უშუალოდ ძირითადი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნიდან, რომელიც ჩაწერილია აბსოლუტურ ერთეულებში, შესაბამისი ცვლადის გაყოფით საკუთარ ბაზისურ მნიშვნელობაზე. თუმცა ასეთი გადასვლა რამდენადმე ართულებს ამო-

ცანას, რადგანაც დღემდე არსებული ემპირიული ფორმულები ხვედრითი ძალებისათვის წინააღმდეგობა „W“ და დამუხრუჭება „B“-სთვის მოიცემა ხვედრით ერთეულებში კგძ/ტ. ამ მიზეზით მიზანშეწონილია გადასვლა ფარდობით ერთეულებზე, გამოვალთ რა ხვედრითი ძალებისათვის დაწერილი განტოლებებიდან:

$$10 \frac{3(1+\gamma)}{g} \frac{dv}{dt} = \frac{F-W}{P+Q} = f-W \quad (68)$$

$$10 \frac{3(1+\gamma)}{g} V \frac{dv}{ds} = \frac{F-W}{P+Q} = f-W \quad (69)$$

სადაც V, S, F, W - სიჩქარის, გავლილი მანძილის, წვევის ძალის და მატარებლის ძირითადი წინააღმდეგობის აბსოლიტური მნიშვნელობებია;

P, Q - ლოკომოტივის და ვაგონის მასაა ტ;

თუ მივიღებთ აღნიშვნებს:

$$\frac{F}{F_6} = \frac{f}{f_6} = f^*; \quad \frac{W}{f_6} = W^*$$

$$y = \frac{v}{v_6}; \quad x = \frac{S}{S_6}; \quad f = \frac{F_6}{P+Q}; \quad \frac{dx}{d\tau} = y;$$

$$T_M = \frac{10^3(1+\gamma)}{g} \frac{V_6}{f_6}; \quad S_6 = V_6 T_6; \quad \tau = \frac{t}{T_M} \quad (70)$$

(68) და (69) განტოლებებიდან ფარდობით ერთეულებში, როგორც არაწრფივ სისტემათა თეორიაშია მიღებული შეიძლება დავწეროთ:

$$\frac{dy}{d\tau} = f^* - W^* = Q(x, y) \quad (71)$$

$$\frac{dx}{d\tau} = P(x, y) = y \quad (72)$$

$$y = \frac{dy}{dx} = f^* - W^* = \frac{Q(x, y)}{P(x, y)} \quad (73)$$

(71) და (73)-ში : \*-სათვის აუცილებელია მხედველობაში გვქონდეს:

$$W^* = \frac{W}{F_6} + \frac{a+bV+cV^2}{F_6} = \frac{a}{f_6} + \frac{b}{f_6} V_6 y + \frac{C V_6^2}{f_6} y^2 = a_1 + b_1 y + C_1 y^2 \quad (74)$$

$$\text{სადაც } a_1 = \frac{a}{f_6}; b_1 = \frac{b}{f_6} V_6; c_1 = \frac{c}{f_6} V_6^2.$$

როგორც ჩანს (71) და (73)-დან, მათში არ არის არანაირი კოეფიციენტი. რომელ ერთეულებშიც გვინდა მივიღოთ ამოცანის ამონახსნი, შეგვიძლია ვისარგებლოთ დამოკიდებულებით (70). ასე მაგალითად, თუ აჩქარება  $g=9,81\text{მ/წმ}^2$ -ს გავზომავთ  $\text{კმ/სთ}^2$ -ში, მაშინ  $T_M$  გამოჩნდება რიცხვი 127000 ნაცვლად 9,81-ი, შეიცვლება ასევე  $S=V_6 T_6$ .

რა ერთეულებში იქნება გამოსახული ბაზისური სიდიდეები, იმავე ერთეულებში იქნებიან თავად ცვლადები. გარდა ამისა, გრაფიკულ და გრაფო-ანალიზური ხერხებით ამოხსნა (71) (73)-ის არაა საჭირო. არაა აუცილებელი მასშტაბების შერჩევა, რადგანაც ყველა ცვლადი გამოსახულია წილობრივ ერთეულებში და აქვთ ერთი და იგივე მასშტაბი. გამოსახულება (73) წარმოადგენს ფიზიკური ტრაექტორიის დიფერენციალურ გამოსახულებებს, ფიზიკურ სიბრტყეში  $Y$  და  $X$  და მათი ამონახსნი მთლიანად დამოკიდებულია ფუნქციაზე  $\frac{Q(x,y)}{P(x,y)}$  იმ შემთხვევაში, როცა ანალიზურად (73) შეუძლებელია ამოგხსნათ, მაშინ მიმართავენ ცნობილ გრაფო-ანალიზურ მეთოდს იზოკლინას ან “დელტა” მეთოდს, რომელიც ფართოდ გამოიყენება არაწრფივი სისტემების გამოკვლევაში. [23;24;25;26]

ამოცანის ანალიზური გადაწყვეტისათვის აუცილებელია შევარჩიოთ მარტივი ფუნქცია, რომელიც კარგად ახდენს არაწრფივი დამოკიდებულების აპროქსიმაციას.

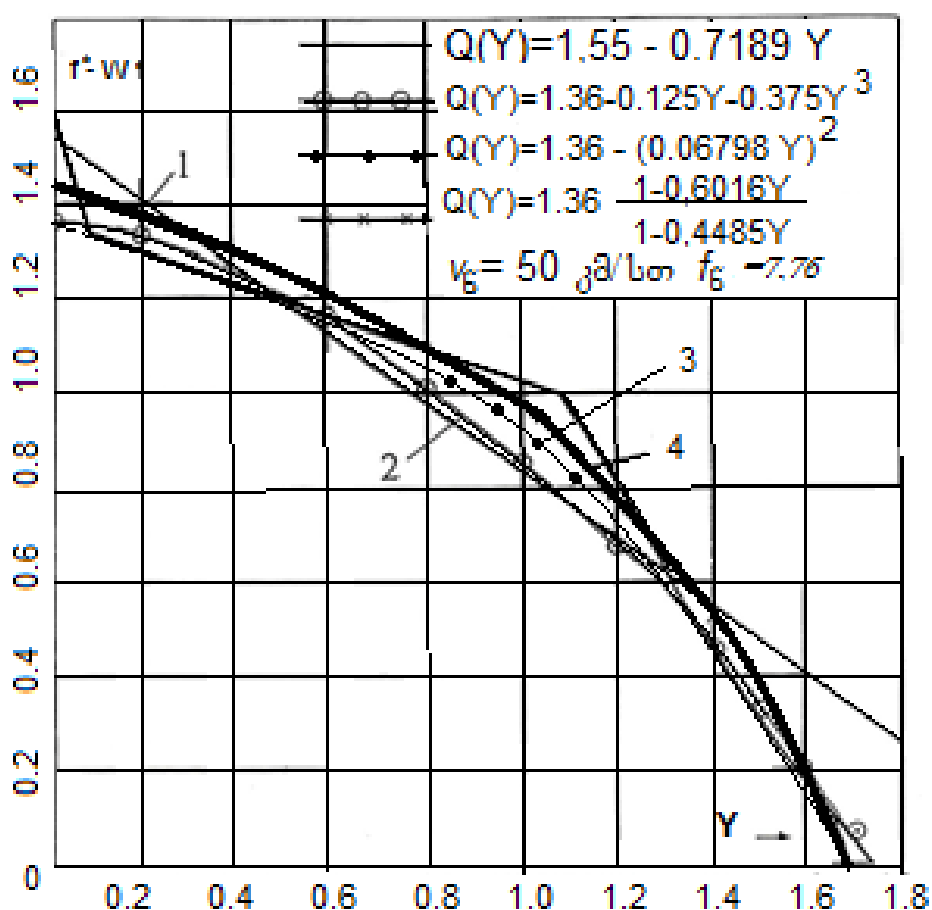
$Q(y) = f^* - W^*$  ამასთან მარტივად ინტეგრირდება და საშუალებას იძლევა ინტეგრირების შემდეგ მივიღოთ მარტივი ფორმულები, რომელიც საშუალებას იძლევა ჩატარდეს მარტივი გამოთვლითი გაანგარიშებები. [29]

სხვადასხვა დროს, სხვადასხვა ავტორის მიერ შეთავაზებულ იქნა სხვადასხვა ფუნქციები, რომლებიც მთლიანად ან ნაწილობრივ ახდენდა  $Q(Y)$  არაწრფივი დამოკიდებულების აპროქსიმაციას მაგალითად, მთლიანად წრფის, სამწვერა პარაბოლის და ა.შ. სახით.



ყველა ამ მეთოდმა დღემდე ვერ ნახა პრაქტიკული გამოყენება უზუსტობის და საბოლოო ფორმულების სირთულის გამო. [8;10;30]

ნახ. 17-ზე კოორდინატებში ( $f^*-W^*$ ) და  $Y$  ფარდობით ერთეულებში მოყვანილია БИ10 ელექტრომაგლის  $Q(Y)$  დამოკიდებულება შემადგენლობის საერთო წონით 5000ტ (ცხიმოვანი ლიანდაგი). აქვე ნაჩვენებია  $Q(Y)$ -ის ერთი წრფით ( $f_m - k \cdot y$ ) და პარაბოლით  $a' \cdot y^2 + b' \cdot y + c'$  (მრუდი 2), როგორც ნახაზიდან ჩანს, ნაჩვენები მრუდები შორსაა რეალური დამოკიდებულებისაგან  $Q(Y)$ .



ნახ. 17. წვეის მახასიათებელი ფარდობით ერთეულებში და მისი აპროქსიმაციის სხვადასხვა ვარიანტი

სადისერტაციო ნაშრომში შეთავაზებულია წილად-წრფივი ფუნქციის გამოყენება, რომელიც სხვა ფუნქციებზე უკეთ ახდენს

არაწრფივი  $Q(Y)$  დამოკიდებულების აპროქსიმაციას და ინტეგრირების შემდეგ გვაძლევს მარტივ გამოსახულებებს, რომელიც მოსახერხებელია გამოთვლებისათვის თანამედროვე კალკულატორის გამოყენებით, რომლებსაც გააჩნია ელემენტალური ფუნქციები. მითითებულ ფუნქციას შემდეგი სახე აქვს:

$$Q(y) = f_m \frac{1-ay}{1-by} \quad (75)$$

სადაც  $f_m$ ,  $a$  და  $b$  - კოეფიციენტები, განისაზღვრება საცდელი წერტილების საფუძველზე შემდეგი დამოკიდებულებებით.

$$b = \frac{f_0}{(f_2 - f_1)} \cdot \frac{A_1 y_2 - A_2 y_1}{y_1 y_2}; \quad a = \frac{1}{y_1} [A_1 + \frac{f_1}{f_0} y_1 b] \quad (76)$$

$$\text{სადაც } A_1 = \frac{f_0 - f_1}{f_0}; \quad A_2 = \frac{f_0 - f_2}{f_0};$$

$f_0$  განისაზღვრება (75)-დან, როცა  $y=0$ ;  $f = f_0$ .

ქანობის გათვალისწინება (75)-ში ხდება შემდეგი გამოსახულების საფუძველზე:

$$Q(y) \pm i = f_0 \frac{1-ay}{1-by} \pm i \quad (77)$$

უბრალო გარდაქმნების ჩატარებით (77) საბოლოოდ მივიღებთ:

$$Q(y) \pm i = f_{0i} \frac{1-a_i y}{1-by} \quad (78)$$

$$\text{სადაც } f_{0i} = (f_0 \pm i); \quad a_i = \frac{f_0 a \pm ib}{f_0 + i} \quad (79)$$

გამოსახულება (78) გულისხმობს იმას, რომ ქანობების შემთხვევაში  $\pm i$  (75) გამოსახულებაში საჭიროა (79)-დან განვსაზღვროთ მხოლოდ  $f_0$  და  $a$ .

დღემდე არსებული წვეის გაანგარიშების გრაფიკული მეთოდები რომლებსაც გვთავაზობს გზათა მიმოსვლის სამინისტრო საკმარისად ზუსტია, ამიტომ ჩვენს მიერ შეთავაზებული წმინდა ანალიზური მეთოდით მიღებული შედეგები შედარებულ იქნება გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდთან. თუ (75) ჩავსვამთ (71) და (73)-ში

ინტეგრირების შემდეგ საწყისი პირობების გათვალისწინებით, საერთო შემთხვევაში მივიღებთ:

$$\Delta \tau = \frac{1}{a^2 f_m} \left[ (b-a) \ln \frac{1-ay}{1-ay_0} + b(ay - ay_0) \right] \quad (80)$$

$$\Delta x = \frac{1}{a^3 f_m} \left[ (b-a) \ln \frac{1-ay}{1-ay_0} + (b-a)(ay - ay_0) + \frac{b}{2} ((ay)^2 - (ay_0)^2) \right] \quad (81)$$

სადაც  $Y_0$  ფარდობითი სიჩქარის საწყისი მნიშვნელობაა. დამოკიდებულებები  $x = f(Y)$  და  $\tau = f(Y)$ , რომლებიც განსაზღვრულია (80) და (81) მოყვანილია ნახ. 18. და აღნიშნულია “ჯერებით”, გრაფიკული გზით მიღებული იგივე მონაცემები მრუდზე ასახულია “წერტილებით”.

$x$ -ის დამოკიდებულება  $\tau$  დროზე, შესაძლოა განისაზღვროს გრაფიკული მეთოდით, გამოვალოთ რა ორი მრუდიდან  $x = f(Y)$  და  $\tau = f(Y)$ -დან. (80) და (81)-ის საფუძველზე.

ცალკე შემთხვევაში, საჭიროებისას ეს დამოკიდებულებები ასევე შეიძლება მივიღოთ გრაფო-ანალიზური მეთოდით  $x = f(Y)$  მრუდიდან დამოკიდებულების საფუძველზე:

ეს დამოკიდებულებები ასევე შეიძლება მივიღოთ გრაფო-ანალიზური მეთოდით  $y=f(x)$  მრუდიდან. დამოკიდებულებების საფუძველზე:

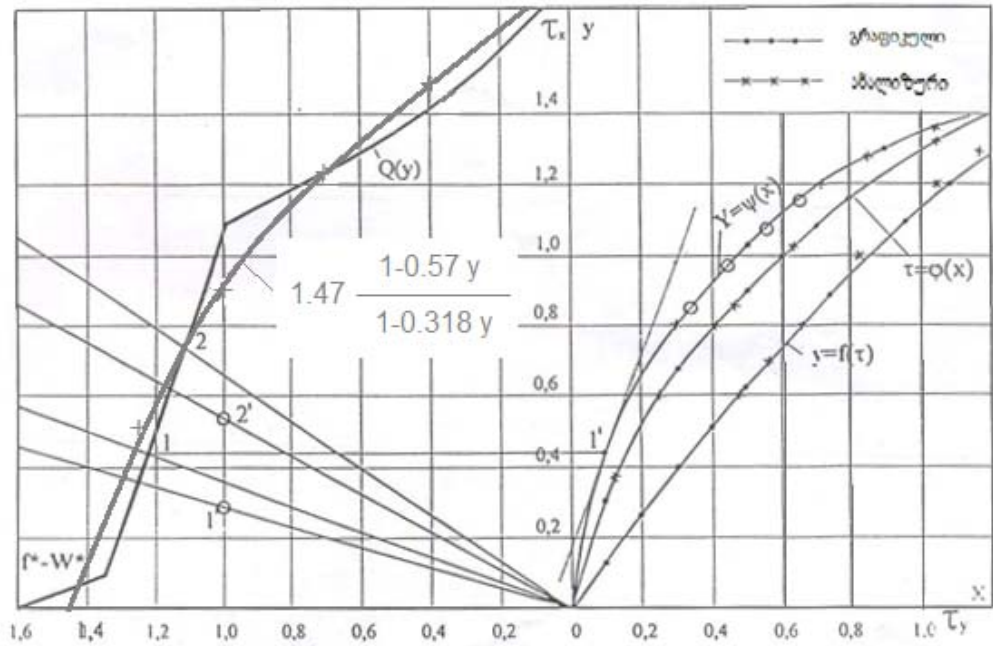
$$\frac{\Delta x}{Y_{\text{საშ}}} = \Delta \tau \quad (82)$$

ნახ. 18-ზე (80) და (81) ანალიზური, როცა  $f_m = 1,36$ ,  $\alpha = 0,6016$ , ხოლო  $b=0.4485$ -ს და გრაფიკული მეთოდით მიღებული შედეგების ანალიზი აჩვენებს მათ კარგ დამთხვევას.

თვალსაჩინოებისათვის ორივე მეთოდით მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილ 4 -ში, საიდანაც ასევე ჩანს მათი კარგი დამთხვევა.

ცხრილი 4.

წვეა									
Q(Y)	y	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
$f_m \frac{1-ay}{1-by}$	$\tau_1$	0	0.1478	0.304	0.468	0.6416	0.8325	1.055	1.353
	$x_1$	0	0.0149	0.0617	0.1437	0.264	0.438	0.682	1.076
გრაფ.	$\tau_2$	0	0.15	0.3	0.47	0.65	0.84	1.08	1.315
	$x_2$	0	0.025	0.07	0.17	0.3	0.47	0.7	1.15



ნახ. 18. გრაფიკული და შეთავაზებული ანალიზური ფორმულებით მიღებული  $x = f(Y)$  და  $\tau = f(Y)$  მრუდები

### 2.5.1 სამუხრუჭო რეჟიმის გაანგარიშება

ამ შემთხვევაში სამუხრუჭო ამოცანის გადაწყვეტა ხდება ასევე დიფერენციალური განტოლების (71), (72) და (73)-ის ინტეგრირებით, რომლებიც ასევე არაწრფივია.

სამუხრუჭო ამოცანის გადაწყვეტისას  $Q(Y)$  ფუნქციის ნაცვლად გვექნება:

$$Q(Y) = W^* + b^* \pm i^*$$

$W^*$  -სათვის ჩვენს მიერ დაწერილია ანალიზური გამოსახულება (74) ფარდობით ერთეულებში. მოვნახოთ ანალიზური გამოსახულება  $b^*$ , რომელიც ტოლი იქნება:

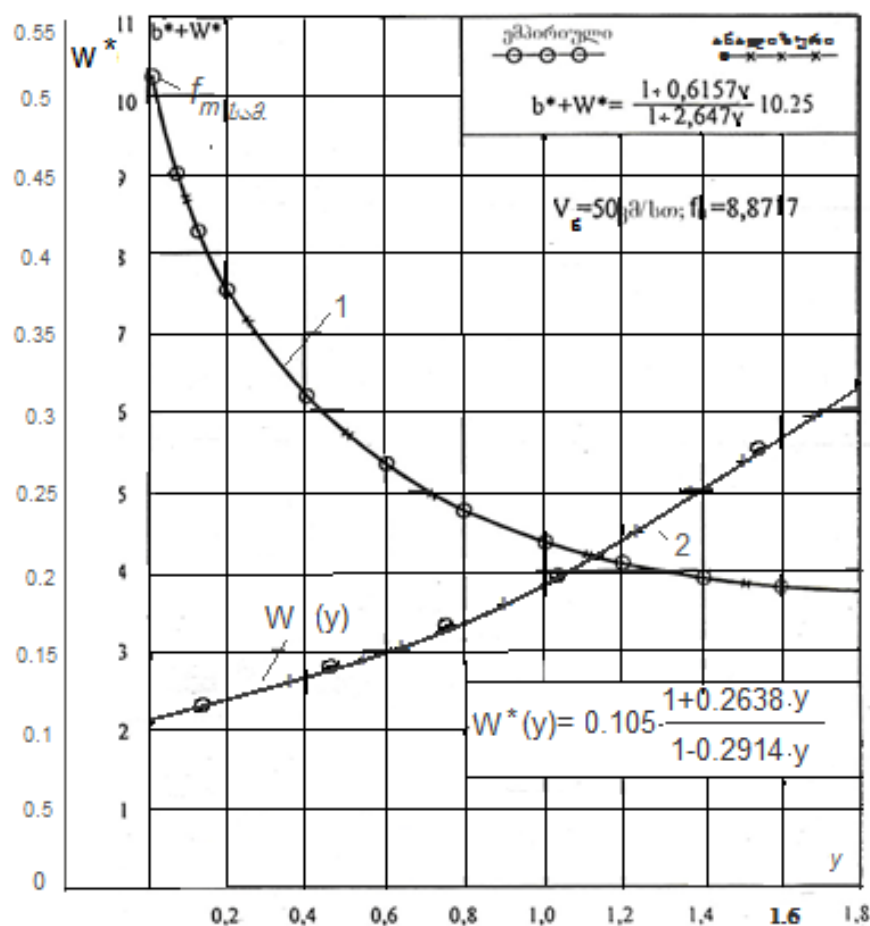
$$b^* = \frac{b}{f_6} = \frac{\phi \cdot 10^3}{f_6} = 0.27 \frac{V+100}{5V+100} \cdot 0.33 \frac{10^3}{f_6}$$

$$b^* = \frac{90}{f_6} \cdot \frac{V_6 Y + 100}{5V_6 Y + 100} = \frac{90}{f_6} \frac{Y+2}{5Y+2} \quad (83)$$

ჩავსვათ (74) (83)-ში და ავაგოთ დამოკიდებულება  $W^* + b^*$  ფარდობითი სიჩქარისაგან  $Y$ . ეს მრუდი მოყვანილია ნახ. 19-ზე.

ბევრი სხვა ავტორისაგან განსხვავებით, რომლებიც უშუალოდ სვამენ ანალიზურ გამოსახულებას ( $W^*+b^*$ ) ძირითად დიფერენციალურ განტოლება (74)-ში და ინტეგრირების შედეგად იღებენ რთულ ფორმულებს, რომელთა გამოყენებაც დაკავშირებულია დიდი მოცულობის გამოთვლით სამუშაოებთან. [1;8;13;14]

გამოთვლების გამარტივებისათვის, მოსახერხებელია  $W^*+b^*$  მრუდი შევცვლით წილად-წრფივი ფუნქციით, რომლის ჩასმაც (71) და (72)-ის ინტეგრირების შედეგს გვაძლევს შედარებით მარტივ გამოსახულებებს.



ნახ. 19. ემპირიულად და ანალიზურად მიღებული  $Y=f(W^*+b^*)$  და  $Y=f(W^*)$  შემანელებელი ძალის მრუდები

მაშ ასე,  $W^*+b^*=Q(Y)$  დამოკიდებულების აპროქსიმაცია მოვახდინოთ

$$Q_{\text{სამ.}} = W^* + b^* \pm i^* = f_{m\text{სამ.}} \frac{1+my}{1+ny} \quad (84)$$

სადაც  $f_{m\text{სამ.}}$ ,  $m$  და  $n$  – მუდმივებია, რომლებიც განისაზღვრება ცნობილი მეთოდით  $Q_{\text{სამ.}}(Y)$  მრუდიდან და შეესაბამება, ანალოგიურ გამოსახულებას (2 . 9)

$$n = \frac{f_{m\text{სამ.}}}{f_2 - f_1} \cdot \frac{A_1 y_2 - A_2 y_1}{y_1 y_2} ; m = \frac{1}{y_1} \left[ A_1 + \frac{f_1}{f_{m\text{სამ.}}} n y_1 \right] \quad (85)$$

სადაც  $A_1 = \frac{f_1 - f_{m\text{სამ.}}}{f_{m\text{სამ.}}} ; A_2 = \frac{f_2 - f_{m\text{სამ.}}}{f_{m\text{სამ.}}} .$

გადასარბენზე ქანობების არსებობის შემთხვევაში:

$$W^* + b^* \pm i = f_{m\text{სამ.}} \frac{1 + m_i y}{1 - n y} \quad (86)$$

$$f_{\text{სამ.}i} = (f_{m\text{სამ.}} \pm i); m_i = \frac{f_{m\text{სამ.}} m \pm in}{f_{m\text{სამ.}} \pm i} \quad (87)$$

როგორც ეს ჩანს (86) და (87)-დან აღნიშნული გამოსახულებები იმეორებენ (78) და (79)–ს.

ნახ. 19-ზე წერტილები, რომლებიც შეესაბამება  $Q_{\text{სამ.}}(Y)$ -ს, აღნიშნულია წრეებით და წერტილები, რომლებიც შეესაბამება (91)-ს, აღნიშნულია “ჯერებით”. როგორც ნახაზიდან ჩანს დამთხვევა იდეალურია.

(84)-ის ჩასმით (71) და (73)-ში და ინტეგრირებით საბოლოოდ მოვიღებთ;

$$\Delta \tau = \frac{1}{m^2 f_{m\text{სამ.}}} \left[ n(my_0 - my) - (n - m) \ln \frac{1 + my_0}{1 + my} \right] \quad (88)$$

$$\Delta x = \frac{1}{m^3 f_{m\text{სამ.}}} \left[ (m - n)(my_0 - my) - (n - m) \ln \frac{1 + my_0}{1 + my} + \frac{n}{2} ((my_0)^2 - (my)^2) \right] \quad (89)$$

$Y$ -ის დამოკიდებულება  $\Delta \tau$  და  $\Delta x$  ცვლადებზე, (88) და (89)-ის საფუძველზე. ჩატარებული ანგარიშის შედეგი, მოყვანილია ცხრილ 5-ში. სადაც ყოველი  $\Delta \tau$  და  $\Delta x$  კორდინატი მიიღება წინა კორდინატა მნიშვნელობის ჯამით, როცა  $f_m = 10,25$ ,  $m = 0,6157$ ,  $n = 2,647$

თვალსაჩინოებისათვის აღნიშნული გამოსახურების ანგარიშის შედეგი მოყვანილია ნახ. 20-ზე მრუდი 1 და მრუდი 2-ის სახით.

ცხრილი 5.

დამუხრუჭება

Y	1.8	1.6	1.4	1.2	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
$\tau$	0	0.051	0.102	0.149	0.194	0.237	0.275	0.31	0.333	0.362
x	0	0.088	0.163	0.251	0.27	0.313	0.34	0.36	0.37	0.37

## 2.5.2. გორვის რეჟიმი

ამ შემთხვევაში მატერებლის ძირითადი წინააღმდეგობა იქნება  $W^* \pm i^*$ . (74) ჩასმით (71) და (72)-ში ინტეგრირების შემდეგ  $4c_1 a_1 \geq b_1^2$  გათვალისწინებით მივიღებთ ამოცანის ზუსტ გადაწყვეტას, თუმცა ამ შემთხვევაში ანალიზური გამოსახულებები მიიღება რთული, რომელიც არ იძლევა შესაბამისად მარტივად  $\tau$  და x-ის გამოთვლის საშუალებას, სხვა რომელიმე  $i^*$  ქანობის დროს, ნახ. 20-ზე მოყვანილი მრუდი 1 და მრუდი 2-ის გამოყენებით. ცნობილ სირთულეებს, რომლის შესახებაც ვისაუბრეთ თავის დასაწყისში, შეიძლება გვერდი ავუაროთ, თუ მრუდ  $W^*(y)$  ფუნქციას, როგორც წვევის და სამუხრუჭო რეჟიმის შემთხვევაში, შევცვლით ანალიზური გამოსახულებით წილად-წრფივი ფუნქციის სახით.

თუ ჩავსვამთ რიცხობრივ მნიშვნელობებს  $a_1, b_1, c_1$  (74)-ში, გარდაქმნების შემდეგ საბოლოოდ მივიღებთ:

$$W^*(y) \pm i^* = 0.105 + 0.03776y + 0.0479y^2 \quad (90)$$

აქ აუცილებელია აღინიშნოს, რომ (90)-ში უგულებელყავით სხვაობა  $a$ ,  $b$  და  $c$  კოეფიციენტებს შორის წვევის და გორვის რეჟიმის დროს.

ნახ. 20-ზე მრუდი 2, რომელიც შეესაბამება (90)-ს, როცა  $i^* = 0$ . აღნიშნული მრუდის ზუსტი აპროქსიმაცია შესაძლებელია მოგახდინოთ ანალიზური გამოსახულებით

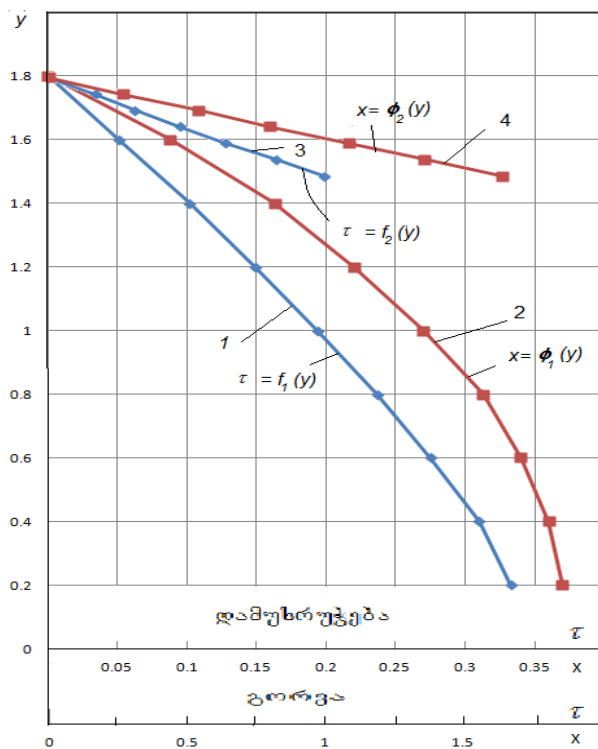
$$W^*(y) = W_0 \frac{1 + m_1 y}{1 - n_1 y} \quad (91)$$

წერტილები, რომლებიც შეესაბამება (91) გამოსახულებას, როცა  $W_0 = 0.105$ ;  $m_1 = 0.2638$ ;  $n_1 = 0.2914$ , აღნიშნულია „ჯერებით“. როგორც ჩანს დამოხვევა იდეალურია.

$m_1$  და  $n_1$  კოეფიციენტები განისაზღვრება საცდელი წერტილების მეშვეობით შემდეგი დამოკიდებულებების საფუძველზე:

$$n_1 = \frac{W_0}{W_1^* - W_2^*} \frac{A_1 y_2 - A_2 y_1}{y_1 y_2} ; m_1 = \frac{1}{y_1} \left[ A_1 - \frac{W_1^*}{W_0^*} n_1 y_1 \right] \quad (92)$$

სადაც  $A_1 = \frac{W_1^* - W_0}{W_0}$ ;  $A_2 = \frac{W_2^* - W_0}{W_0}$



ნახ. 20.  $\tau$  და  $x$ -ის  $y$ -ზე დამოკიდებულების უნივერსალური მრუდები დამუხრუჭებისას და გორვის დროს



$\pm i$  ქანობის შემთხვევაში გამოსახულება (91) ექნება შემდეგი სახე:

$$W_i^*(y) = W_{0i} \frac{1+m_i y}{1-n_i y} \quad (93)$$

$$W_{0.i} = (W_0 \pm i); \quad m_{1i} = \frac{m_1 W_0 \mp n_1 i}{(W_0 \pm i)} \quad (94)$$

(91)-ის ჩასმით ამოსავალ დიფერენციალურ განტოლებებში (71) და (73)-ში საწყისი და საბოლოო მნიშვნელობების გათვალისწინებით ინტეგრირების შემდეგ საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\Delta \tau = \frac{1}{m_1^2 W_0'} \left[ (n_1 + m_1) L n \frac{1+m_1 y_1}{1+m_1 y_0} - n_1 (m_1 y - m y_0)_1 \right] \quad (95)$$

$$\Delta x = -\frac{1}{m_1^3 W_0'} \left[ -(n_1 + m_1) L n \frac{1+m_1 y}{1+m_1 y_0} + (n_1 + m_1) (m_1 y - m_1 y_0) - \frac{n_1}{2} ((m y)^2 - (m y_0)^2) \right] \quad (96)$$

როგორც (80)-(81), (88)-(89) და (95)-(96) ფორმულებიდან ჩანს, სტრუქტურის მიხედვით ისინი სავსებით ერთნაირია, მიუხედავად იმისა, რომ დამუხრუჭებისას და გორვისას მოძრაობის სხვადასხვა რეჟიმებს აღწერენ. განსხვავება მხოლოდ ნიშნებშია და მუდმივი კოეფიციენტების სხვადასხვა მნიშვნელობებში, რომლებიც შედიან ამ ფორმულებში. ზემოთ აღნიშნული წარმოადგენს ჩვენს მიერ მოყვანილი ანალიზური მეთოდის მნიშვნელოვან უპირატესობას, წვეის გაანგარიშების ჩატარების დროს.

(95) და (96)-ის საფუძველზე Y დან  $\Delta \tau$  და  $\Delta x$ -ის გამოთვლილი მნიშვნელობები, როცა  $f_m = 0,105$ ;  $m=0,2638$  ;  $n=0,2914$  მოყვანილია ცხრილში 6.

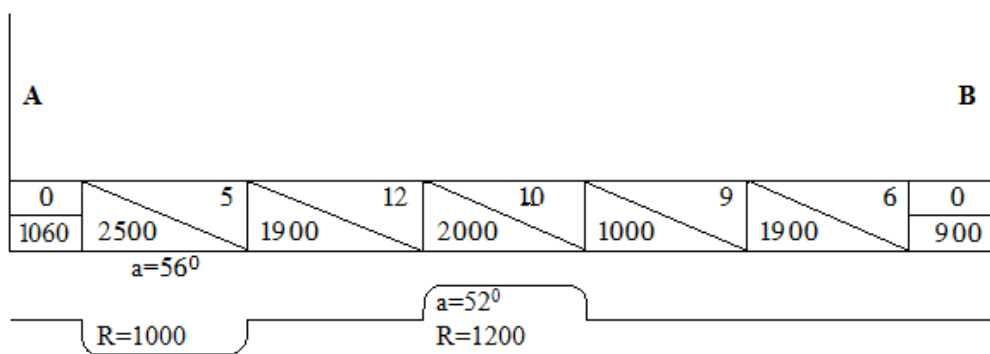
ცხრილი 6.

გორვა							
Y	1.8	1.75	1.7	1.65	1.6	1.55	1.5
$\tau$	0	0.1694	0.3128	0.475	0.643	0.824	1.0
x	0	0.267	0.5433	1.0158	1.09	1.365	1.645

### 2.5.3. აღნიშნული მეთოდის გამოყენება წვეის გაანგარიშების აბსოლუტურ ერთეულებში ჩატარების შემთხვევაში

ჩავატაროთ წვეის ანგარიში აღნიშნული მეთოდით, მხოლოდ გაანგარიშება ვაწარმოოთ აბსოლუტურ ერთეულებში და მიღებული შედეგები შევადაროთ პრაქტიკაში ყველაზე გავრცელებულ გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით მიღებულ შედეგს გაანგარიშებები აბსოლუტურ ერთეულებში ვაწარმოოთ შემდეგი მონაცემების საფუძველზე, მოცემულობაში მოყვანილ AB გადასარბენზე იხ. ნახ. 21. მოცემულია:

1. ელექტრომაგლის სერია БЛ10;
2. ოთხდერძიანი ვაგონების წონითი წილი  $\beta_4=0.3$
3. ექვს დერძიანი ვაგონების წონითი წილი  $\beta_6=0.7$
4. ოთხ დერძიანი ვაგონების წონა  $q_4=60$ ტ.
5. ექვს დერძიანი ვაგონების წონა  $q_6=90$ ტ.
6. სადგურის ლიანდაგების სასარგებლო სიგრძე 1050მ ელმავლის.
7. გზის გრძივი პროფილის სიგრძე  $l=11,15$  კმ.



ნახ. 21. AB გადასარბენზე გზის პროფილი

არსებული წვეის გაანგარიშება მოიცავს:

1. პროფილის გასწორებას;
2. საანგარიშო ქანობის არჩევას;

3. მატარებლის წონის განსაზღვრას;
4. ამჩქარებელ და შემანელებელ ძალთა მრუდების გაანგარიშებასა და აგებას;
5. სიჩქარის მრუდის აგებას, რაც გულისხმობს  $V=f(s)$ ;
6. დროის მრუდის აგებას, რაც გულისხმობს  $t=f(s)$ ;
7. დენის მრუდის აგებას, ანუ  $I_g=f(s)$  ან  $I_g(t)$
8. ენერგიის ხარჯის განსაზღვრას;
9. წვევის ძრავების შემოწმება გახურებაზე.

იმ შემთხვევაში, თუ ძრავის ტემპერატურა აჭარბებს დადგენილ ნორმებს, ცვლიან მოძრაობის რეჟიმს იმ გვარად, რომ შენარჩუნებულ იქნას ელექტრომაგლის ექსპლუატაციის ნორმალური პირობები. [11]

პროფილის გასწორება და საანგარიშო ქანობის არჩევა დაწვრილებითაა განხილული 1.9 პარაგრაფში. AB გადასარბენის გზის პროფილი ანალიზური სახით, პროფილის გასწორება და შედეგების საფუძველზე საანგარიშო ქანობის არჩევა მოყვანილია ცხრილში 7.

როგორც ცხრილი 7-დან ჩანს, გზის პროფილის მე-4 და მე-5 ელემენტები გაერთიანდა.

რადგან AB მიმართულებით მატარებლის მოძრაობა წარმოებს სრულ დაღმართზე, საანგარიშო ქანობი არ იცვლება.

ცხრილი 7.

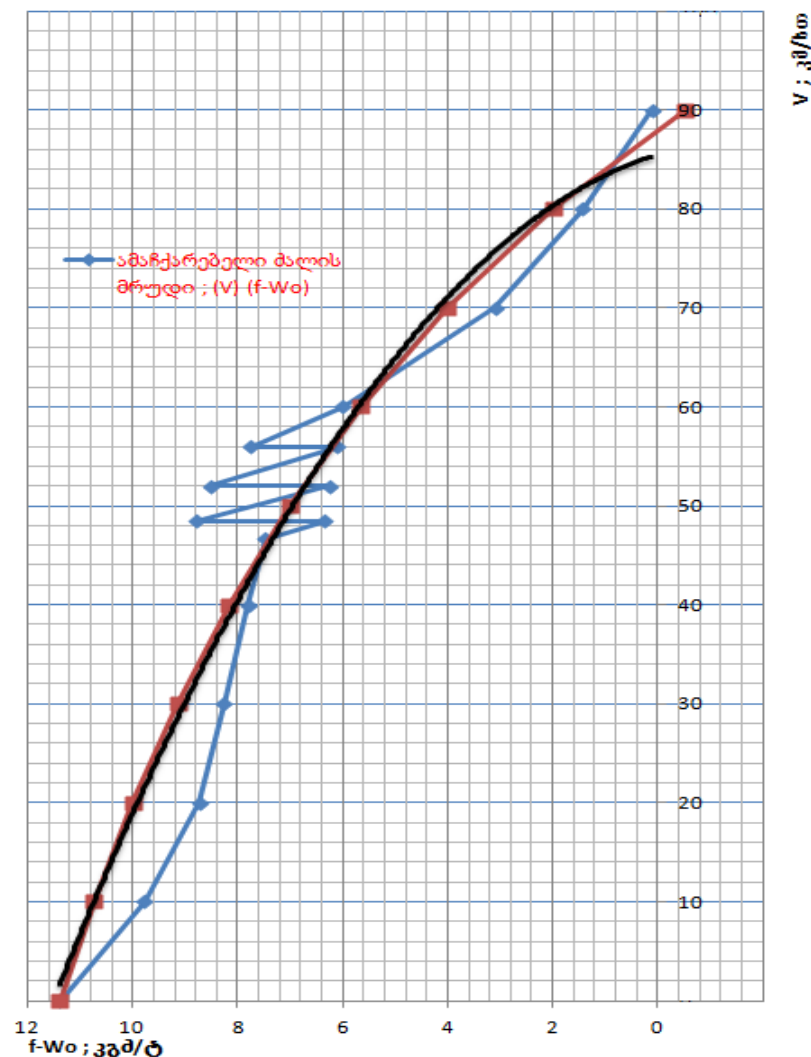
რკინიგზის უბნის პროფილი

№	i	S	R	a		i' <sub>გ</sub>	i'' <sub>გ</sub>	i <sub>გAB</sub>	S <sub>გ</sub>	№
1	0	950	—	—		0	—	0	950	1
2	-5	2500	1000	56 <sup>0</sup>		-5	0.3	-4.7	2500	2
3	-12	1900	—	—		-12	—	-12	1900	3
4	-10	2000	1200	52 <sup>0</sup>						
5	-9	1000	—	—		-9.6	0.2	-9.4	3000	4
6	-6	1900	—	—		-6	—	-6	1900	5
7	0	900	—	—		0	—	0	900	6

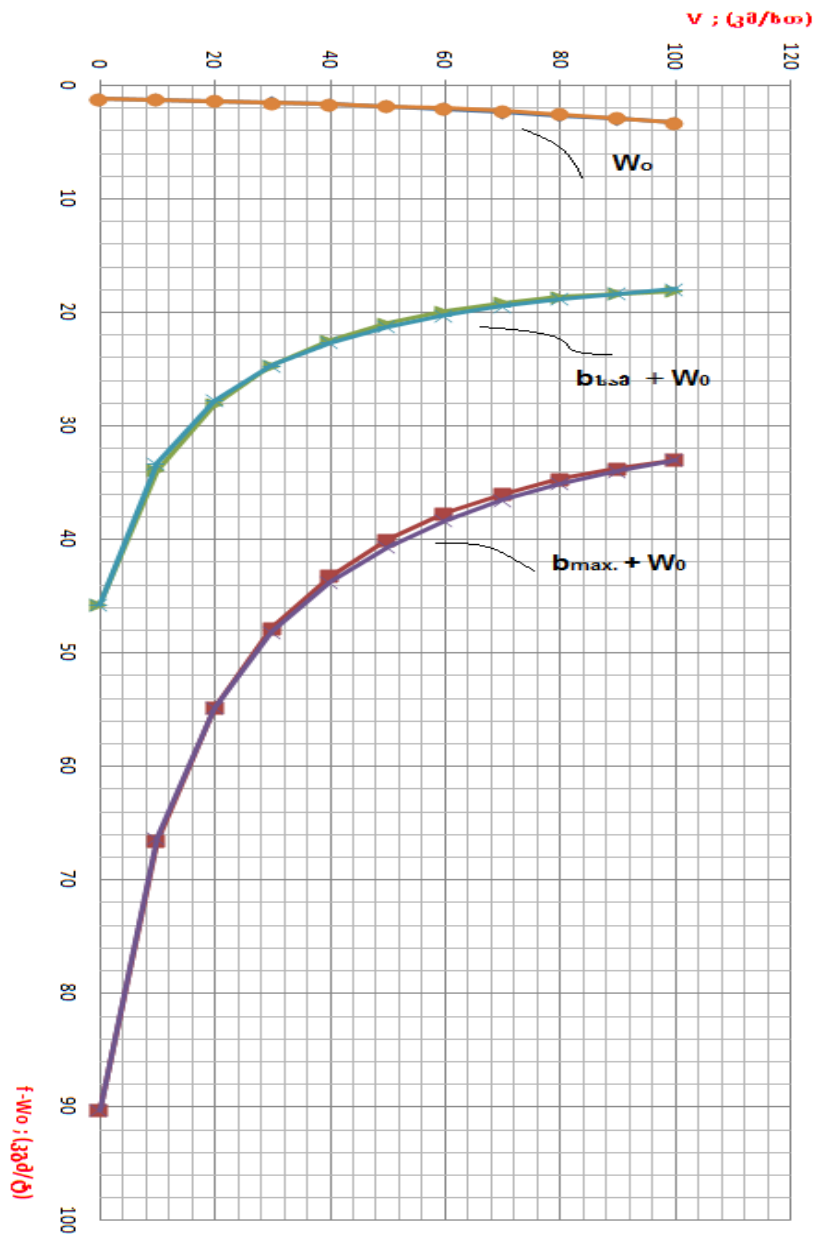
მატარებლის წონის განსაზღვრა წარმოებს 2.1. პარაგრაფის საფუძველზე. ცნობილი მეთოდით AB მიმართულებით ვირჩევთ მატარებლის ოპტიმალურ წონას, რომელიც შეადგენს 4800ტ. აღნიშნული წონის მატარებელი აკმაყოფილებს 2.1. პარაგრაფში მოცემულ ყველა პირობას.

ამაჩქარებელ და შემანელებელ ძალთა დიაგრამების გაანგარიშება წარმოებს ცნობილი მეთოდით (იხ. 1.7 პარაგრაფი).

როგორც ცნობილია ამაჩქარებელ ძალთა მრუდს  $(f-W_0)=f(v)$  წარმოადგენს დამოკიდებულება, იხ. ნახ. 22. იგი აიგება БИ10 ელექტრომავლის სარეჟიმო მახასიათებლის მიხედვით  $F(V)$ .



ნახ. 22.  $(f-W_0)=f(v)$  რეალური ამაჩქარებელი ძალის მრუდი და მისი აპროქსიმაცია შეთავაზებული მეთოდით



ნახ. 23.  $(b_0+W_0)=f(v)$ ;  $W_0=f(v)$  შემანელებელი ძალების მრუდები და მათი აპროქსიმაცია შეთავაზებული მეთოდით

კუთრი წევის ძალა გამოითვლება ფორმულით  $f = \frac{F}{P+Q}$  კმ/ტ.

კუთრი ხვედრითი წინააღმდეგობა ლოკომოტივის დენით მოძრაობის დროს.

$$W_0 = \frac{P - W'_0 + QW''_0}{P + Q} \text{ კმ/ტ}$$

პრაქტიკულად ამჩქარებელ ძალთა მრუდის აგება ხდება ე.მ.შ. მუშა მახასიათებლის საფუძველზე. აღნიშნული მახასიათებელი მოცე-

მუდია წვეის გაანგარიშების წესებში (წ.გ.წ). მოცემულობის მიხედვით ჩატარებული გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია ცხრილში 8.

როგორც ცნობილია, შემანელებელ ძალთა მრუდებს წარმოადგენს  $b_{\max} + W_{o_0} = f(v)$  ექსტრემალური დამუხრუჭების შემთხვევაში,  $b_{\text{სამ}} + W_{o_0} = f(v)$  სამომსახურეო დამუხრუჭების დროს, ხოლო თავისუფალი გორვისას  $W_{o_0} = f(v)$  დამოკიდებულება, იხ. ნახ. 23.

მატარებლის მოძრაობისადმი ძირითადი ხვედრითი წინააღმდეგობა ელმავლის უდენოდ სვლის შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით:

$$W_{o_0} = \frac{PW'_0 + QW''_0}{P + Q} \quad \text{კგძ/ტ;}$$

$b_{\max}$  სამუხრუჭო ძალა ტოლია:

$$b_{\max} = 0.9 \cdot 10^3 \quad \text{კგძ/ტ,}$$

სადაც  $\zeta = 0.33$  - კოეფიციენტი სატვირთო მატარებლებისათვის.

$\varphi$  ხახუნის კოეფიციენტი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$\varphi = 0.27 \frac{V + 100}{5V + 100}; \quad \text{სამომსახურეო დამუხრუჭების ძალა } b_{\text{სამ}} = 1.5b_{\max};$$

$W'_0 = 2.4 + 0.01V + 0.00035V^2$  კგძ/ტ ლოკომოტივის ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა გამოითვლება

$$W''_0 = \beta_4 W''_{04} + \beta_6 W''_{06} \quad \text{კგძ/ტ}$$

ოთხდერძიანი და ექვსდერძიანი და რვადერძიანი ვაგონების ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა გორგოლაჭიანი საკისრების შემთხვევაში გამოითვლება შესაბამისად:

$$W''_{04} = 0.7 + \frac{3 + 0.1V + 0.0025V^2}{q_{04}}, \quad \text{სადაც } q_{04} = \frac{q_4}{4};$$

$$W''_{06} = 0.7 + \frac{3 + 0.08V + 0.002V^2}{q_{06}}, \quad \text{სადაც } q_{06} = \frac{q_6}{4};$$

$$W''_{08} = 0.7 + \frac{6 + 0.026V + 0.0017V^2}{q_{08}} \quad \text{სადაც } q_{08} = \frac{q_8}{8};$$

აღნიშნული ფორმულებით  $W''_{04} = 1.6$  კგძ/ტ.;  $W''_{06} = 1.7$  კგძ/ტ.

ჩატარებული გაანგარიშების შედეგები მოყვანილია ცხრილში 9.

ცხრილი 8-ის და ცხრილი 9-ის მიხედვით აგებულ ამახქარებელ და შემანელებელ ძალთა დიაგრამები მოყვანილია შესაბამისად ნახ. 22. და ნახ. 23-ზე.

ცხრილი 8.

ამაჩქარებელი  $f - W_0$  ძალის ანგარიში ე.მშ.-ს  $Q = 4860$  ტ.

$V$ კმ/სთ	0	10	20	30	40	46.7	48.5	48.5	52	52	56	56	60	70	80	90	100
$F$ კგძ	62600	52400	50200	48500	47000	46000	40600	52800	40500	51800	40200	48400	40100	26900	20000	15000	11200
$f$ კმ/ტ	12.56	1051	10.07	9.73	9.43	9.23	8.15	10.59	8.12	10.39	8.06	9.71	8.04	5.39	4.01	3.01	2.25
$W'_0$ კმ/ტ	1.9	2.03	2.22	2.47	2.78	3.02	3.09	3.09	3.23	3.23	3.40	3.40	3.58	4.07	4.62	5.23	5.9
$P \cdot W'_0$	349.60	373.52	408.48	454.48	511.52	555.86	568.56	568.56	594.54	594.54	625.74	625.74	658.72	748.88	850.08	962.32	1085.60
$W''_{04}$ კმ/ტ	0.90	0.98	1.10	1.25	1.43	1.57	1.61	1.61	1.69	1.69	1.79	1.79	1.90	2.18	2.50	2.85	3.23
$W''_{06}$ კმ/ტ	1.23	1.30	1.39	1.51	1.66	1.77	1.80	1.80	1.87	1.87	1.95	1.95	2.03	2.26	2.51	2.79	3.10
$W_0$	1.15	1.23	1.33	1.47	1.63	1.76	1.79	1.79	1.87	1.87	1.95	1.95	2.05	2.30	2.58	2.89	3.24
$f - W_0$	11.40	9.27	8.73	8.25	7.30	7.46	6.34	8.79	6.25	8.52	6.10	7.75	5.99	3.09	1.42	0.11	-0.99

ცხრილი 9.

შემანელელებელი  $V(b_{\text{სმ}}+W_0)$ ;  $V(b_{\text{max}}+W_0)$  და თავისუფალი გორვის  $V(W_0)$  მრუდების ასაგებად  
საჭირო ანგარიში ე.მ.შ. წონა  $Q = 4860$  ტ.-ს

$V_{\text{კმ/სთ}}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\varphi$	0.27	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.108	0.102	0.097	0.093	0.089
$b_{\text{max}}$ კმ/თ	89.10	65.00	53.46	46.20	41.58	38.28	35.64	33.66	32.00	30.70	29.39
$b_{\text{სმ}}$	44.55	32.50	26.73	23.10	20.79	19.14	17.82	16.83	16.00	15.35	14.68
$W'_{\text{ox}}$	2.40	2.54	2.76	3.04	3.40	3.82	4.32	4.88	5.52	6.22	7.00
$P \cdot W'_{\text{ox}}$	441.60	468.28	507.84	560.28	625.60	703.80	794.88	897.92	1015.68	114.54	12.88
$W''_{04}$ კმ/ტ	0.90	0.98	1.10	1.25	1.43	1.65	1.90	2.18	2.50	2.85	3.23
$W''_{06}$ კმ/ტ	1.23	1.30	1.39	1.51	1.66	1.83	2.03	2.26	2.51	2.79	3.10
$W_0$	1.16	1.17	1.35	1.49	1.65	1.91	2.07	2.33	2.62	2.72	3.28
$b_{\text{max}}+W_0$	90.27	66.16	54.81	47.69	43.23	40.19	37.71	35.99	34.62	33.42	32.65
$b_{\text{სმ}}+W_0$	45.72	33.66	28.08	24.59	22.44	21.05	19.89	19.16	18.62	18.07	17.96
$W_0$	1.16	1.17	1.35	1.49	1.65	1.91	2.07	2.33	2.62	2.72	3.28



ნახ. 21 და ნახ. 22-ზე მოყვანილ ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების მრუდების აპროქსიმაციას ვაწარმოებთ ჩვენს მიერ შეთავაზებული მეთოდით. კოეფიციენტები  $f_m$ ,  $a$ ,  $b$  ამაჩქარებელი მრუდის  $f$ ,  $m$ ,  $n$  სამუხრუჭო რეჟიმის და  $W_0$ ,  $m_1$ ,  $n_1$  გორვის რაჟიმისათვის განისაზღვრება ისე, როგორც ეს ფარდობით ერთეულებში ჩატარებული გაანგარიშებისათვის,  $(f-W)=f(v)$ ;  $(b_0+W_0)=f(v)$ ;  $W_0=f(v)$  მრუდებიდან ცნობილი მეთოდით აღნიშნული კოეფიციენტები განისაზღვრება  $i=0$  ქანობისათვის მატარებლის გასვლისას მომდევნო ქანობზე. ქანობის თავისებურებიდან გამომდინარე იცვლება  $a$ ,  $m$ ,  $m_1$  კოეფიციენტები.

აღნიშნული კოეფიციენტები განისაზღვრება:

$$a' = \frac{\alpha f_m \pm ib}{f_m \pm i} \quad (97)$$

$$m' = \frac{mf_{mT} \pm in}{f_{mT} \pm i} \quad (98)$$

$$m'_1 = \frac{m_1 W_0 \mp n_1 i}{W_0 \pm i} \quad (99)$$

სადაც  $f_m$ ,  $f_{m\text{სამ}}$  და  $W_0$  ხვედრითი ძალების უდიდესი მნიშვნელობებია წვეის, სამუხრუჭო და გორვის რეჟიმში;  $i$  იმ ქანობის სიდიდეა, რომელზედაც მოძრაობს მატარებელი.

ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების მრუდების აპროქსიმაციის შედეგები მოყვანილია ცხრ.10 და ცხრ.11-ში და გრაფიკულად ასახულია ნახ. 21 და ნახ. 22-ზე. ანალიზური მნიშვნელობების გრაფიკულთან შედარებით ნათლად ჩანს მათი კარგი დამთხვევა, რაც მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს მომდევნო პრაქტიკული გაანგარიშების მაღალ სიზუსტეს.

ცხრილი 10.

ამაჩქარებელი ძალის მრუდის აპროქსიმაცია

$V_{კმ/სთ}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$f-W$ კგძ/ტ, გრაფ.	11	10.7	10	9.2	8.1	7	5.7	4.27	1.8
$f-W$ კგძ/ტ, ანალიზ.	11	10.7	10	9.16	8.2	7.1	5.8	4.27	2.43

შემანელებელი ძალების მრუდების აპროქსიმაცია

Vკმ/სთ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
b+W კმ/ტ გრაფ.	45.72	33.6 6	28.08	24.59	22.4 4	21.05	19.89	19.16	18.62	18.07	17.96
b+W კმ/ტ ანალი	45.72	33.28	27.78	24.65	22.65	21.26	20.23	19.4 5	18.82	18.32	17.90

გასწორებულ გზის პროფილზე პრაქტიკულ გაანგარიშებას, მატარებლის წევის რეჟიმში გაწარმოებთ (80) და (81) ფორმულით აბსოლუტურ ერთეულებში აღნიშნული ფორმულები მიიღებენ შემდეგ სახეს:

$$\Delta t = \frac{B}{a^2} \left[ (b-a) \ln \frac{1-av}{1-av_0} + b(av - av_0) \right] \quad (100)$$

$$\Delta S = \frac{B}{a^3} \left[ (b-a) \ln \frac{1-av}{1-av_0} + \frac{b}{2} ((av)^2 - (av_0)^2) + (b-a)(bv - av_0) \right] \quad (101)$$

სადაც  $B = \frac{(1+\gamma)}{127(f_m \pm i)}$ ;

$f_m$  - ხვედრითი წევის ძალის უდიდესი მნიშვნელობაა.

$(1+\gamma)$  მბრუნავი ნაწილების გავლენაა მატარებლის მოძრაობაზე.

ჩვენს შემთხვევაში  $(1+\gamma)=1.05833$ ;  $(f_m \pm i)$  ითვალისწინებს ქანობის გავლენას მატარებლის მოძრაობისას. ერთი ქანობის ელემენტიდან მეორეზე გადასვლის დროს იცვლება, როგორც B, რადგან იცვლება X, ასევე a შესაბამისი a' კოეფიციენტით, რომელიც იანგარიშება (97) ფორმულით. მაგ: მაშინ, როდესაც  $i=0$   $a=0.011$ ;  $b=0.0037$  როცა  $i=-4.7$   $a'=0.0088$ ; b ქანობის მიხედვით არ იცვლება.

სამუხრუჭო რეჟიმის ანგარიშს გაწარმოებთ (92) და (93) ფორმულით. აბსოლუტურ ერთეულებში აღნიშნული ფორმულები მიიღებენ შემდეგ სახეს:

$$\Delta t = \frac{B'}{m^2} \left[ n(mv_0 - mv) - (n-m) \ln \frac{1+mv_0}{1+mv} \right] \quad (102)$$

$$\Delta S = \frac{B'}{m^3} \left[ (m-n)(mv_0 - mv) - (n-m) \ln \frac{1+mv_0}{1+mv} + \frac{n}{2} ((mv_0)^2 - (mv)^2) \right] \quad (103)$$

ისევე, როგორც წვეისას სამუხრუჭო რეჟიმის დროსაც ქანობის ცვლილებასთან ერთად ანალოგიურად იცვლება B და m:

$$B' = \frac{(1+\gamma)}{127(f_{m_{\text{სამ.}}} \pm i)},$$

$f_{m_{\text{სამ.}}}$  - სამუხრუჭო ძალის უდიდესი მნიშვნელობაა, რომელიც  $f_{m_{\text{სამ.}}} = 45.72$  კგძ/ტ ტოლია. რადგანაც მატარებლის მოძრაობა სამუხრუჭო რეჟიმში წარმოებს  $i=-4.7$ ;  $i=-12$ ;  $i=-9.4$ ;  $i=-6$  და  $i=0$  სიდიდის ქანობზე. შესაბამისად იცვლება  $m'$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები, რომლებიც იანგარიშება (98) ფორმულით. აღნიშნული ქანობების მიხედვით  $m'$  მნიშვნელობები ტოლია: 0.0129; 0.0023; 0.0066; 0.0113; 0.018. მატარებლის მოძრაობისას  $i=0$  ქანობზე  $m=0.018$ ;  $n$  კოეფიციენტი ნებისმიერი ქანობის დროს  $n=0.062$ -ის ტოლია.

გორვის რეჟიმის ანგარიშს ვაწარმოებთ (95) და (96) ფორმულით. აბსოლუტურ ერთეულებში აღნიშნული ფორმულები მიიღებენ შემდეგ სახეს:

$$\Delta t = -\frac{B}{m_1^2} \left[ -(n_1 - m_1) \ln \frac{1+m_1 v}{1+m_1 v_0} + n_1 (m_1 v - m_1 v_0) \right] \quad (104)$$

$$\Delta S = -\frac{B'}{m_1^3} \left[ (n_1 + m_1) \ln \frac{1+m_1 v}{1+m_1 v_0} + (n_1 + m_1)(m_1 v - m_1 v_0) - \frac{n_1}{2} ((m_1 v)^2 - (m_1 v_0)^2) \right] \quad (105)$$

ისევე, როგორც წინა შემთხვევაში, გორვის რეჟიმის დროსაც ქანობის ცვლილებასთან ერთად ანალოგიურად იცვლება  $B''$  და  $m_1$  კოეფიციენტები.

$$B'' = \frac{(1+\gamma)}{127(W_0 \pm i)},$$

$(1+\gamma)=1.05833$  მბრუნავი ნაწილების გავლენაა მატარებლის მოძრაობაზე.  $W_0=1.2$  კგძ/ტ გორვისას ხვედრითი სამუხრუჭე ძალის უდიდესი მნიშვნელობაა. მატარებლის მოძრაობა გორვის რეჟიმში წარმოებს  $i=-12$ ;  $i=-9.4$ ;  $i=-6\%$  ქანობზე. საწყისი  $m_1=0.0019$  კოეფიციენტის ცვლილება ხორციელდება (99) გამოსახულებით, მოცემული ქანობებისათვის

$m'_1$  შესაბამისად -0.0061; -0.0063; -0.0071-ის ტოლია.  $n_1 = 0.0063$  კოეფიციენტები ნებისმიერი ქანობის დროს არის უცვლელი.

$\Delta t$  ანგარიში (100), (102) ან (104) ფორმულების გარდა შესაძლებელია  $V_{\text{საშ.}}$ -საშუალო სიჩქარის მეშვეობით კერძოდ  $\Delta t_1 = \frac{\Delta S_1}{V_{\text{საშ.1}}}$ ,

$\Delta t_2 = \frac{\Delta S_2}{V_{\text{საშ.2}}} \dots \Delta t_n = \frac{\Delta S_n}{V_{\text{საშ.n}}}$ , სადაც  $\Delta S_1, \Delta S_2, \dots, \Delta S_n$  იანგარიშება (101), (103)

ან (105) ფორმულით.

იმისათვის, რომ მივაღწიოთ მაქსიმალურ სიზუსტეს მოძრაობის მრუდების ანგარიშს 1 კმ/სთ სიჩქარის ინტერვალით ვაწარმოებთ. მატარებლის მოძრაობის შესაბამისი რეჟიმების ანგარიში (100), (101), (102), (103), (104), (105) გამოსახულებებით ნაჩვენებია ცხრილში 12.

$V = f(s)$ , მრუდის ასაგებად და მოძრაობის  $t$  დროის ანგარიშისათვის ვსარგებლობთ მოძრაობის შესაბამისი რეჟიმისათვის მიღებული  $\Delta S$ -ის და  $\Delta t$  წინასწარ განსაზღვრული მნიშვნელობებით.  $V = f(s)$ , მრუდის  $S$  მანძილი განისაზღვრება, როგორც  $S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \dots + \Delta S_n$ , ხოლო  $t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_n$  ჯამი. რადგან ჩვენ ვაწარმოებთ გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით (იხ. 1.8 პარაგრაფი) აგებული  $V = f(s)$  მრუდის შედარებას ჩვენს მიერ შეთავაზებულ ანალიზური მეთოდით მიღებულ  $V = f(s)$  მრუდთან. შეთავაზებული მეთოდით მიღებული  $V = f(s)$  დამოკიდებულების გრაფიკული შედარებისათვის აუცილებელია შედეგების გადაყვანა შესაბამის მასშტაბში, რომელიც რეკომენდებულია გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მიერ (იხ. ცხრილი 2.) და ასეთი სახით მიღებული შედეგის დატანა ე.წ. “მილიმეტროკაზე”.

გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით მიღებული  $V = f(s)$  მრუდი მოიცავს მატარებლის მოძრაობის სხვადასხვა რეჟიმს, იდენტური რეჟიმების გამოყენებით ანალიზურად გაანგარიშებულია და აგებულია  $V = f(s)$  მრუდი. გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით აგებულ  $V = f(s)$  მრუდთან ერთად, შედარებისათვის მოყვანილია ნახ. 23-ზე. ჩვენს მიერ ანალიზური ფორმულების გამოყენებით აგებული  $V = f(s)$  მრუდი ნახაზზე მოყვანილია წყვეტილი, ხოლო გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით უწყვეტი წრფით. გრაფიკული მეთოდით

მრუდების აგება წ.გ.წ.-ს მიხედვით ხორციელდება  $\Delta v = 5$  კმ/სთ ბიჯით, ამიტომ ანალიზურად მიღებული მნიშვნელობების საკონტროლო წერტილები, რომელიც ნახაზზე დატანილია „ჯვრებით“, ცხრილიდან აიღება ანალოგიური ბიჯით, გამონაკლისს წარმოადგენს ერთი ქანობიდან მეორე ქანობზე გადასვლის  $v$  სიჩქარის შესაბამისი  $\Delta S$ , რომელიც აირჩევა ამავე ცხრილიდან და დაიტანება ნახაზზე.

ჩვენს მიერ ანგარიშის სრული სურათი ზუსტად იმავე რეჟიმების გამოყენებით, როგორც გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდის დროს, მოყვანილია ცხრილიში 12. როგორც ნახ. 23-დან ვხედავთ, დამთხვევა ორი მეთოდის მიხედვით აგებულ მრუდს შორის კარგია.

ცხრილი 12.

რეჟიმების მიხედვით დროის სეგმენტის  $\Delta t$ (წმ.) და გზის სეგმენტის  $\Delta S$ (მ) მნიშვნელობების განსაზღვრა

		$v$ (კმ/სთ)	$s$ , ( მ )	$s$ , ( მმ )	$T$ , (წმ )
წ ე გ ი ს რ ე ჟ ი მ ი	$i = 0$ (‰)	0	0	0	0
		1	0.380645	0.018271	0
		2	1.530142	0.073447	2.737292
		3	3.460118	0.166086	5.49494
		4	6.182602	0.296765	8.273404
		5	9.710039	0.466082	11.07316
		6	14.05531	0.674655	13.8947
		7	19.23176	0.923125	16.73854
		8	25.25321	1.212154	19.6052
		9	32.13398	1.542431	22.49523
		10	39.88892	1.914668	25.4092
		11	48.53344	2.329605	28.3477
		12	58.08352	2.788009	31.31133
		13	68.55577	3.290677	34.30073
		14	79.96743	3.838436	37.31656
		15	92.33641	4.432148	40.3595
		16	105.6814	5.072705	43.43026
		17	120.0216	5.761039	46.52958
		18	135.3775	6.498118	49.65822
		19	151.7698	7.28495	52.81698
		20	169.2206	8.122587	56.0067
		21	187.7526	9.012124	59.22824
		22	207.3897	9.954705	62.48251
		23	228.1567	10.95152	65.77045
		24	250.0796	12.00382	69.09304

<p>             Ү              Ү              3              0              6              Ү              3              0              8              0              6              0              0           </p>	<p><math>i = 0</math> (‰)</p>	25	273.1856	13.11291	72.45132
		26	297.5029	14.28014	75.84635
		27	323.0614	15.50695	79.27927
		28	349.8922	16.79482	82.75124
		29	378.0277	18.14533	86.2635
		30	407.5023	19.56011	89.81734
		31	438.3519	21.04089	93.41412
		32	470.6141	22.58947	97.05526
		33	504.3285	24.20777	104.4766
		34	539.5371	25.89778	108.2601
		35	576.2835	27.66161	112.0944
		36	614.6143	29.50148	115.9813
		37	654.5782	31.41975	119.9229
		38	696.2268	33.41889	123.921
		39	739.6148	35.50151	127.9779
		40	784.7999	37.6704	132.0959
		41	831.8433	39.92848	136.2774
		42	880.8099	42.27888	140.525
		43	931.7687	44.7249	144.8414
		44	984.7929	47.27006	149.2295
		45	1039.961	49.91811	153.6923
	<p><math>i = -4.7</math> (‰)</p>	46	1073.496	51.52781	156.3456
		47	1108.126	53.19004	159.0266
		48	1143.876	54.90606	161.736
		49	1180.775	56.6772	164.4749
		50	1218.851	58.50484	167.244
		51	1258.134	60.39045	170.0443
		52	1298.657	62.33555	172.8769
		53	1340.453	64.34175	175.7429
		54	1383.557	66.41071	178.6432
		55	1428.005	68.54422	181.5792
		56	1473.836	70.74413	184.552
		57	1521.091	73.01239	187.5629
		58	1569.814	75.35107	190.6133
		59	1620.049	77.76234	193.7046
		60	1671.844	80.24849	196.8384
		61	1725.249	82.81196	200.0162
		62	1780.319	85.4553	203.2397
		63	1837.109	88.18123	206.5107
		64	1895.68	90.99264	209.8312
		65	1956.095	93.89257	213.2032

გორგა	სამოსამსახურეო დამუხრუჭება	წვევის რეჟიმი	i = - 4.7 (‰)			
			66	2018.422	96.88427	216.6287
			67	2082.733	99.97121	220.1101
			68	2149.105	103.157	223.6499
			69	2217.619	106.4457	227.2506
			70	2288.363	109.8414	230.9149
			71	2361.43	113.3486	234.6459
			72	2436.92	116.9722	238.4467
			73	2514.942	120.7172	242.3208
			74	2595.609	124.5892	246.2718
			75	2679.048	128.5943	250.3036
			76	2765.392	132.7388	254.4206
			77	2854.786	137.0297	258.6273
			78	2947.388	141.4746	262.9287
			79	3043.369	146.0817	267.3302
			80	3142.914	150.8599	271.8378
			79	3190.08	153.1239	273.5755
			78	3236.462	155.3502	275.306
			77	3282.063	157.539	277.0293
			76	3326.883	159.6904	278.7452
			75	3370.927	161.8045	280.4538
			74	3414.197	163.8815	282.1549
			73	3456.695	165.9214	283.8483
			72	3498.424	167.9244	285.5341
			71	3539.387	169.8906	287.2121
			70	3619.707	173.7459	291.3134
			69	3698.131	177.5103	295.3756
			68	3774.677	181.1845	299.3985
			67	3849.366	184.7696	303.3818
			66	3922.216	188.2664	307.3255
			65	3993.246	191.6758	311.2294
			64	4062.475	194.9988	315.0933
			63	4129.923	198.2363	318.9171
			62	4195.609	201.3892	322.7005
			61	4259.552	204.4585	326.4435
			60	4321.773	207.4451	330.1458
			61	4369.295	209.7262	332.9736
			62	4417.618	212.0457	335.8022
			63	4466.742	214.4036	338.6318
			64	4516.667	216.8	341.4622
			65	4567.394	219.2349	344.2934
			66	4618.923	221.7083	347.1256

გორვა	i = - 12 (‰)	67	4671.256	224.2203	349.9586
		68	4724.392	226.7708	352.7926
		69	4778.333	229.36	355.6274
		70	4833.078	231.9877	358.4631
		71	4888.628	234.6541	361.2997
		72	4944.983	237.3592	364.1372
		73	5002.145	240.103	366.9756
		74	5060.114	242.8855	369.8149
		75	5118.89	245.7067	372.655
		74	5206.977	249.9349	376.9116
სამოსამსახურეო დამუხრუჭება	i = - 12 (‰)	73	5293.095	254.0686	381.1295
		72	5377.262	258.1086	385.3088
		71	5459.495	262.0558	389.4492
		70	5518.752	264.9001	392.475
		69	5576.755	267.6842	395.4795
		68	5633.513	270.4086	398.4623
		67	5689.034	273.0736	401.4234
		66	5743.327	275.6797	404.3626
		65	5796.399	278.2272	407.2795
		64	5848.261	280.7165	410.1741
გორვა	i = - 9.4 (‰)	63	5898.92	283.1482	413.0461
		62	5948.386	285.5225	415.8953
		61	5996.667	287.84	418.7215
		60	6043.773	290.1011	421.5244
		61	6106.722	293.1227	425.2702
		62	6170.739	296.1955	429.0175
		63	6235.823	299.3195	432.7663
		64	6301.975	302.4948	436.5167
		65	6369.197	305.7215	440.2686
		66	6437.489	308.9995	444.0221
გორვა	i = - 9.4 (‰)	67	6506.853	312.3289	447.7771
		68	6577.289	315.7099	451.5337
		69	6648.798	319.1423	455.2918
		70	6721.381	322.6263	459.0515
		71	6795.039	326.1619	462.8128
		72	6869.773	329.7491	466.5756
		73	6945.584	333.388	470.34
		74	7022.473	337.0787	474.106



სამოსამსახურეო დამუხრუჭება	სამოსამსახურეო დამუხრუჭება	გორვა	სამოსამსახურეო დამუხრუჭება				
			i = - 9.4 (‰)				
სამოსამსახურეო დამუხრუჭება	სამოსამსახურეო დამუხრუჭება	გორვა	i = - 6 (‰)	75	7100.441	340.8212	477.8735
				74	7164.79	343.9099	480.983
				73	7227.853	346.937	484.0718
				72	7289.64	349.9027	487.1398
				71	7350.158	352.8076	490.1868
				70	7409.414	355.6519	493.2127
				69	7467.417	358.436	496.2171
				68	7524.175	361.1604	499.2
				67	7579.696	363.8254	502.1611
				66	7633.989	366.4315	505.1002
				65	7687.062	368.979	508.0172
				64	7738.924	371.4683	510.9117
				63	7789.583	373.9	513.7837
				62	7839.049	376.2743	516.6329
				61	7887.33	378.5918	519.4591
				60	7934.435	380.8529	522.2621
				61	7997.385	383.8745	526.0078
				62	8061.401	386.9473	529.7551
				63	8126.485	390.0713	533.5039
				64	8192.637	393.2466	537.2543
				65	8259.859	396.4732	541.0062
				66	8328.152	399.7513	544.7597
				67	8397.515	403.0807	548.5147
				68	8520.172	408.9682	561.8751
				69	8644.735	414.9473	575.2496
				70	8771.209	421.018	588.6383
				71	8899.596	427.1806	602.0412
				72	9029.898	433.4351	615.4584
				71	9666.559	463.9948	617.7198
				70	9697.518	465.4809	619.9812
				69	9727.936	466.9409	622.2426
				68	9757.812	468.375	624.5040
				67	9787.15	469.7832	626.7654
				66	9815.95	471.1656	629.0268
				65	9844.214	472.5223	631.2882
				64	9871.942	473.8532	633.5496
63	9899.138	475.1586	635.8110				
62	9925.802	476.4385	638.0724				
61	9951.936	477.6929	640.3338				

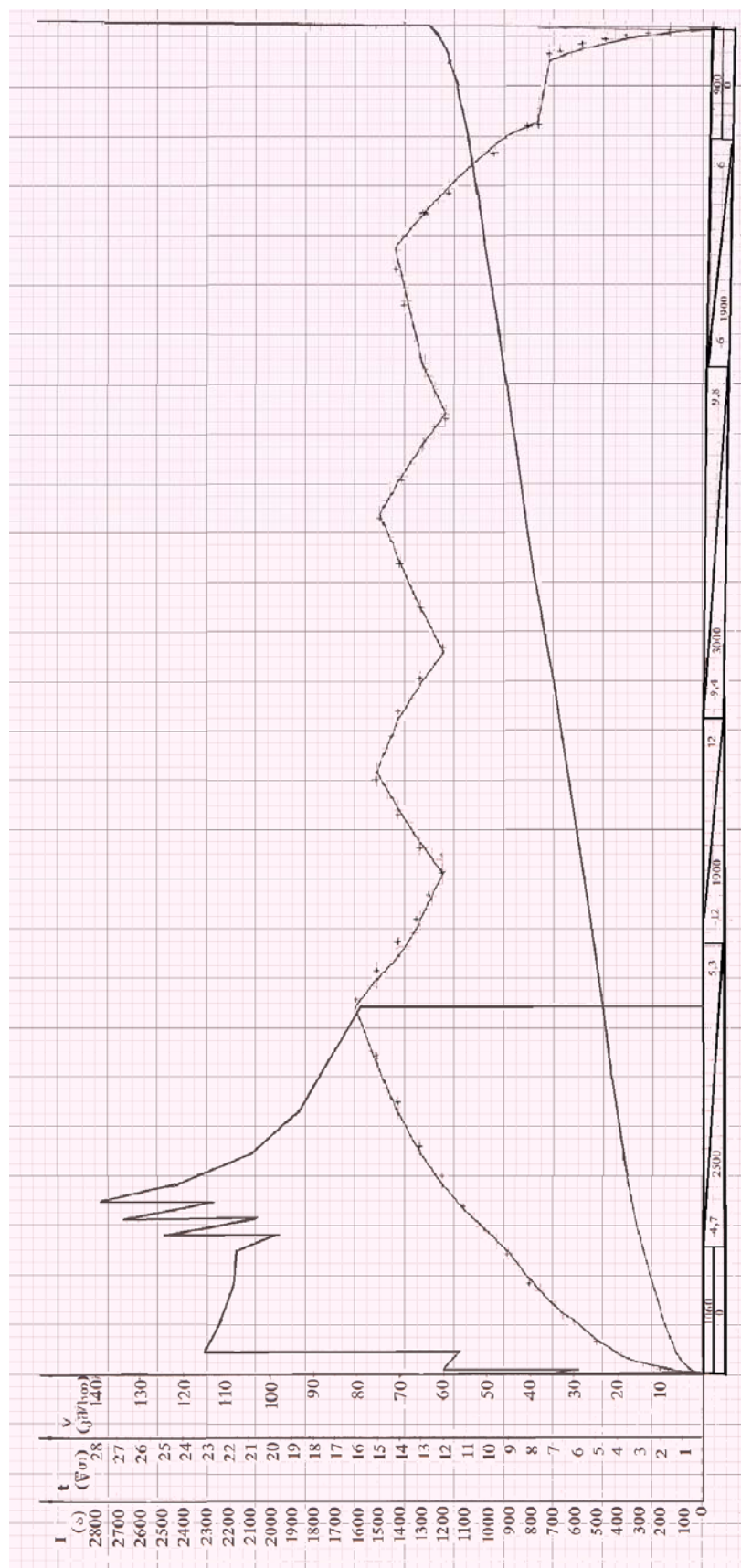
სამოსამსახურეო დამუხრუჭება	i = - 6 (‰)	60	9977.542	478.922	642.5952
		59	10002.62	480.1258	644.8566
		58	10027.18	481.3044	647.1180
		57	10051.21	482.4579	649.3795
		56	10074.72	483.5864	651.6409
		55	10097.71	484.69	653.9025
		54	10120.18	485.7687	656.1637
		53	10142.14	486.8227	658.4254
		52	10163.59	487.8521	660.6864
		51	10184.52	488.8569	662.4475
		50	10204.94	489.8373	664.7942
		49	10224.86	490.7934	665.9421
		48	10244.28	491.7253	666.7124
		47	10263.19	492.6331	667.4128
		46	10281.6	493.5169	669.5665
		45	10299.52	494.3768	670.9449
		44	10316.94	495.213	672.3144
		43	10333.87	496.0256	673.6749
		42	10350.31	496.8147	675.0263
	i = 0 (‰)	41	10366.26	497.5805	676.3683
		40	10381.73	498.3231	677.7007
		39	10411.23	499.7392	693.7007
		38	11016.59	528.7964	709.7007
		37	11030.63	529.4702	725.7007
		36	11044.2	530.1215	726.9928
		35	11057.3	530.7504	728.2743
		34	11069.94	531.357	729.545
		33	11082.11	531.9415	730.8045
		32	11093.83	532.5041	732.0526
		31	11105.1	533.0449	733.2892
		30	11115.92	533.5643	734.5138
		29	11126.3	534.0623	735.7262
		28	11136.23	534.5392	736.9262
		27	11145.73	534.9952	738.1135
		26	11154.8	535.4306	739.2876
		25	11163.45	535.8455	740.4484
		24	11171.67	536.2401	741.5954
		23	11179.48	536.6148	742.7284
		22	11186.87	536.9698	743.8469
		21	11193.86	537.3054	744.9505

სამოსამსახურეო დამუხრუჭება	i = 0 (‰)	20	11200.45	537.6218	746.039
		19	11206.65	537.9194	747.1119
		18	11212.46	538.1983	748.1687
		17	11217.9	538.459	749.2091
		16	11222.95	538.7018	750.2325
		15	11227.65	538.927	751.2386
		14	11231.98	539.1349	752.2267
		13	11235.96	539.326	753.1964
		12	11239.59	539.5005	754.1471
		11	11242.9	539.659	755.0784
		10	11245.87	539.8018	755.9895
		9	11248.53	539.9294	756.8798
		8	11250.88	540.0422	757.7488
		7	11252.93	540.1407	758.5957
		6	11254.7	540.2254	759.4199
		5	11256.18	540.2969	760.2205
		4	11257.41	540.3556	760.9968
		3	11258.38	540.4022	761.748
		2	11259.11	540.4373	762.4732
		1	11259.61	540.4615	763.1715
		0	11259.91	540.4755	763.8419
Time (min)					12.71

სიჩქარის მრუდის აგებისას აუცილებელია გავითვალისწინოთ, რომ მატარებლის მოძრაობის სიჩქარე, ნებისმიერი რეჟიმით მოძრაობისას, მიისწრაფის წონასწორობის დამყარებული სიჩქარისაკენ. ანუ ისეთი სიჩქარისკენ, როცა მატარებლის მიერ განვითარებული წევის ძალა სიდიდით უტოლდება წინააღმდეგობის ძალის მნიშვნელობას. დამყარებული სიჩქარით მოძრაობა გრძელდება იმ გადასარბენის ელემენტის ბოლომდე, რომელზეც მოხდა სიჩქარის დამყარება. მათემატიკურად ეს ხდება როცა  $\frac{dv}{dt} = 0$ . ამ დროს ჩვენი ფორმულების შემთხვევაში

$$1 - a' \cdot V = 0. \text{ დამყარებული სიჩქარის მნიშვნელობა იანგარიშება } V = \frac{1}{a'}$$

$$\text{სადაც: } a' = \frac{f_0 a \mp ib}{f_0 \pm i}.$$



ნახ. 24. მატარებლის მოძრაობის  $v(s)$ ,  $t(s)$ , ასევე  $I(s)$  დამოკიდებულებები და  $v(s)$  დამოკიდებულება მიღებული ანალიზური ფორმულების გამოყენებით

#### 2.5.4. ელ. ენერგიის ხარჯის განსაზღვრა შეთავაზებული მეთოდის დროს

როგორც 2.4. პარაგრაფში აღინიშნა, ელ. ენერგიის დანახარჯი მატარებლის მოძრაობისას განისაზღვრება გრაფო-ანალიზური მეთოდით,  $I_p(S)$  და  $t(S)$  ან  $I_p(t)$  და მრუდების გამოყენებით, დენის  $I_p(t)$  და  $I_p(S)$  მრუდების აგება დაწვრილებითაა განხილული 2.2.1. პარაგრაფში, ხოლო გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით  $t(S)$  მრუდის აგება ასევე დაწვრილებითაა განხილული 1.8 პარაგრაფში. როგორც ვიცით,  $t(S)$  მრუდის ასაგებად გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით, აუცილებელია წინასწარ გექონდეს აგებული  $V(S)$  დამოკიდებულება. აღნიშნული  $t(S)$  და  $V(S)$  დამოკიდებულებები ილუსტრირებისათვის მოყვანილია ნახ. 24-ზე. გზათა მიმოსვლის სამინისტროს მეთოდით აღნიშნული მრუდების აგება წარმოებს სპეციალური მასშტაბების საფუძველზე, რაც აგების პროცესს მნიშვნელოვნად ართულებს, ჩვენს მიერ შეთავაზებული ფორმების ანგარიშის საფუძველზე აგებული მრუდები არ საჭიროებენ სპეციალურ მასშტაბებს, რაც მნიშვნელოვნად ამარტივებს მათი აგების პროცესს.

ელ. ენერგიის ხარჯის განსაზღვრა ჩვენს მიერ შეთავაზებული ფორმულების შედეგების მიხედვით აგებული მრუდების საფუძველზე მოსახერხებელია ჩატარდეს  $I_p(t)$  და  $V(t)$  მრუდების გამოყენებით.

ელ. ენერგიის ხარჯის დადგენა წარმოებს შემდეგნაირად:  $I_p(t)$  მრუდიდან და  $V(t)$  მრუდის ყოველ  $\Delta t$  ინტერვალში იღებენ  $I_{საშ}$  მნიშვნელობას. აღნიშნული მნიშვნელობები, როცა  $\Delta t = \text{var}$  მოცემულია ცხრილში 13. უნდა აღინიშნოს ის გარემოება, რომ იმ შემთხვევისთვის, როდესაც  $\Delta t$  ინტერვალი გვაქვს უცვლელი, რაოდენობრივად  $I_{საშ}$  დენების მნიშვნელობები გვაქვს მეტი და ამიტომ გამოთვლა უფრო ზუსტია, ამ პირობის გათვალისწინებით წარმოებს წვეის რეჟიმის დროს მოხმარებული ელ. ენერგიის ხარჯის დადგენა ე.გ.მ.-ის მეშვეობით. ამიტომ ასეთი სახით მიღებული შედეგი უფრო ზუსტია ცხრილში 13. მოყვანილ ელ.ენერგიის მნიშვნელობაზე.

წვეის რეჟიმის დროს მოხმარებული A ელ.ენერგიის ხარჯის განსაზღვრა გრაფიკული სახით მიღებული  $I_a(t)$  და  $V(s)$  მრუდების გამოყენებით

$\Delta t$ (წთ)	$I_{საშ}$ (ა)	$\Delta t \cdot I_{საშ}$
0.5	650	325
0.7	1170	819
0.6	1270	762
0.6	2200	1320
0.4	2150	860
0.2	2050	410
0.2	2200	440
0.1	2400	240
0.1	2550	255
0.3	2250	675
0.3	1980	594
0.3	1800	540
0.3	1660	498
		$\Sigma 7738$
$A_{ელ.} = \frac{3000 \cdot \Sigma \Delta t \cdot I_{საშ}}{(60 \cdot 1000)}$		$A_{ელ.} = \frac{386.9}{კვტ/სთ}$

## 2.6. წვეის გაანგარიშების შემოთავაზებული მეთოდით პრაქტიკული ანგარიშის ჩატარება ე.გ.მ-ის გამოყენებით

ინჟინრების ეფექტური მუშაობა თანამედროვე პირობებში შეუძლებელია პერსონალური კომპიუტერის და ტელესაკომუნიკაციო საშუალებების გარეშე. პერსონალური კომპიუტერების მუშაობა ხორციელდება ოპერაციული სისტემების (მაგ: MS-DOS, OS/2, BE OS, Linux, Windows და ა.შ.), ხოლო გამოყენებითი ამოცანების გადასაწყვეტად გამოიყენება პროგრამების სპეციალური პაკეტები.

ბუნებრივია, კვალიფიციურ მომხმარებლებს, რომლებიც საკმარისად ფლობენ პროგრამირების რომელიმე ენას (C, Pascal, Fortran, Lisp, Prolog და ა.შ.) თავად ძალუძთ განახორციელონ ცალკეული ან კომპლექსური პროგრამირება, რომელიც საშუალებას იძლევა ე.გ.მ-ზე რეალი-

ზებულ იქნას ამოცანათა კომპლექსური ალგორითმები, რიგ შემთხვევაში მომხმარებლის მიერ შექმნილი ვიწროსპეციალური პროგრამა შეიძლება მუშაობდეს უფრო სწრაფად, ვიდრე პროგრამული პაკეტის მქონე პროგრამა, თუმცა ასეთი მიდგომა დიდ შრომასთანაა დაკავშირებული.

პროგრამირების დროის შემცირების მიზნით შექმნილია დიდი რაოდენობით პაკეტ-პროგრამები, რომელთა ეფექტური გამოყენებისთვის აუცილებელია სწორად შეირჩეს ისინი ამა თუ იმ ამოცანის გადასაწყვეტად.

საინჟინრო გამოთვლების განსახორციელებლად ყველაზე გავრცელებულია: Mathcad, Matlab, Derive, Maple V, Mathematica, Vissin და ა.შ.

პროგრამა Mathcad-ი ძალიან მარტივია გამოყენების და სწავლის თვალსაზრისით.

მრავალი მოქმედება, რომელიც აუცილებელია პროგრამის სამართავად, ინტუიციურად გასაგებია და მისი ძირითადი საფუძვლების ათვისებისთვის იმ მომხმარებლისათვის, რომელსაც გააჩნია Windows-ის გამოყენების პრაქტიკა, 2-3 სთ-ია საჭირო.

Mathcad ის სისტემას გააჩნია შემდეგი თვისებები:

1. ყველგან გამოიყენება ჩვეულებრივი მათემატიკური ჩანაწერები. თუ არსებობს მიღებული საერთო საშუალება განტოლების ამოხსნისას სხვადასხვა მათემატიკური ოპერაციების ჩასატარებლად ან გრაფიკების გამოსახვის რაღაც ცნობილი ფორმა, პროგრამა Mathcad იყენებს მათ.

2. გამოიყენება პრინციპი „რასაც ხედავ იმას იღებ“ (“What you see is what you get”) არ არსებობს არანაირი ფარული ინფორმაცია, ყველაფერი გამოისახება ეკრანზე. ამობეჭვდისას საჭირო შედეგი გამოიყურება ზუსტად ისე, როგორც ეკრანზეა გამოსახული.

3. მარტივი გამოსახულებები კლავიატურაზე იკრიფება სტანდარტული კლავიატურის გამოყენებით. სპეციალური ოპერატორებისათვის (ჯამის სიმბოლო, ინტეგრალი, მატრიცა და ა.შ.) გათვალისწინებულია სპეციალური ე.წ. “პალიტრები”

კარგად შემოწმებული მრავალი რიცხვითი ალგორითმების გამოყენება მნიშვნელოვნად ამარტივებს ამოცანის გადაწყვეტას. რიცხვითი გაანგარიშების გარდა, შესაძლებელია სიმბოლური გარდაქმნების გამო-

ყენებაც. პროგრამას გააჩნია ფართო გრაფიკული შესაძლებლობები, განგარიშების შედეგების ანალიზისათვის, ასევე შესაძლებელია სხვადასხვაგვარი ანიმაციის შექნა. Mathcad-ი სრულად იყენებს OLE და DDE ტექნოლოგიას, რომელიც გამოიყენება Windows და Microsoft Office-ის სხვადასხვა პროგრამული პაკეტის ელემენტების კავშირისათვის.

შემოთავაზებული მეთოდით წვეის ანგარიში ე.გ.მ.-ის გამოყენებით შესრულებულია მათემატიკური პროგრამა Mathcad-ის და მასში Microsoft office Excel 2007-ის ელემენტების გამოყენებით.

### **2.6.1. ელ. წვეის მოსამზადებელი სამუშაოს შესრულების მეთოდთა ე.გ.მ-ზე**

ნებისმიერი და მათ შორის წვეის განგარიშების ამოცანის შესრულება ე.გ.მ.-ის გამოყენებით საჭიროებს გარკვეული წინასწარი მოსამზადებელი სამუშაოს შესრულებას.

მოსამზადებელი სამუშაო გულისხმობს გზის პროფილის დამუშავებას და გარკვეული დაშვებების გზით პროფილის შემადგენელი ქანობის ელემენტების დამუშავებას, მათ გაერთიანებას, საანგარიშო ქანობის არჩევას, მატარებლის წონის განსაზღვრას, მის შემოწმებას ადგილიდან დაძვრის და მატარებლის კინეტიკური ენერგიის გათვალისწინებით შერჩეული საანგარიშო ქანობის გადალახვის პროცესს, მატარებლის წონის შემოწმებას სადგურის ლიანდაგებში ჩატევის პირობით ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების განგარიშებას და შესაბამისი მრუდების აგებას (აღნიშნული საკითხები დეტალურადაა განხილული ნაშრომის პირველ თავში.)

მოსამზადებელი სამუშაოს წარმოება საკმაოდ რთულია და დიდი რაოდენობის გამოთვლების ჩატარებასთანაა დაკავშირებული. განსაკუთრებით დიდ დროს მოითხოვს აღნიშნული პროცესის მიკროკალკულატორზე შესრულება, როგორც ეს კეთდება დღეს ს.ტ.უ.-ს ელ. ტრანსპორტის კათედრაზე საკურსო დავალებების შესრულებისას.



თანამედროვე პირობებში შესაძლებელია მთლიანად ავტომატიზირებული პროგრამის შექმნა, რომელიც ელ. წევის ამოცანებს დამოუკიდებლად ავტომატიზირებულ რეჟიმში გადაწყვეტს მოძრაობის მრუდების გაანგარიშების და აგების ჩათვლით. თუმცა ჩვენი მიზანია შევქმნათ პროდუქტი, რომელსაც შემეცნებითი ხასიათი აქვს და აღნიშნული პროგრამა უშუალოდ განკუთვნილია სტუდენტების საკურსო დავალებების ე.გ.მ.-ზე შესრულებისათვის, და მიზნად ისახავს სტუდენტების ცოდნის გაღრმავებას ელ. წევის თეორიაში, ამიტომ მიზანშეწონილია მთლიანად ავტომატიზირებული პროგრამის ნაცვლად ნაწილობრივ ავტომატიზირებული პროგრამული პროექტის შექმნა, რაც გულისხმობს არა გაუგებარი მოქმედებების ბრმა შესრულებას ერთი დაჯერით კლავიატურის დილაკზე, არამედ ცალკეული ამოცანების პუნქტებად ამოხსნას და შედეგების დეტალურ მიზნობრივ ანალიზს, რომელიც მიიღება დამუშავებული სახით, გასაგები ფორმით. [6]

შექმნილი პროექტი მთლიანად აკმაყოფილებს ელ. ტრანსპორტის კათედრაზე მიღებულ წევის გაანგარიშების ჩატარების მოთხოვნებს. აღნიშნული სახით შესრულებული პროგრამა მარტივია, მასში დასმული ამოცანები გასაგები სახით არის გადაწყვეტილი და მოსახერხებელია სტუდენტებისათვის საკურსო დავალებების შესასრულებლად. ე.გ.მ.-ის გამოყენება დიდად აღრმავებს სტუდენტის ცოდნას და საინტერესოს ხდის სწავლების პროცესს.

როგორც ყველა ამოცანა, ელ. წევის ანგარიშის ჩატარებაც მოითხოვს გარკვეული მოცემულობის არსებობას. კერძოდ განვიხილოთ რეალური მაგალითი და პრაქტიკულად შევამოწმოთ ჩვენს მიერ შექმნილი პროგრამა.

მოცემულია:

1. ელექტრომაგლის სერია БЛ-10

ელექტრომაგლის საანგარიშო წევის ძალა	$F_{\text{საან}} = 46000$ კგძ
ლოკომოტივის დაძვრის წევის ძალა	$F_{\text{დაძ}} = 62600$ კგძ
ელექტრომაგლის სიგრძე	$L_{\text{ო}} = 33$ მ
ელექტრომაგლის წონა	$P_{\text{ო}} = 184$ ტ

საანგარიშო სიჩქარე

$$V_{\text{საან}} = 46,7 \text{ კმ/სთ}$$

ქანობი, რომელზედაც ხდება AB მიმართულებით შემადგენლობის დაძვრა

$$i_{\text{დამ. AB}} = 0\%$$

ქანობი, რომელზეც ხდება AB მიმართულებით შემადგენლობის დაძვრა

$$i_{\text{დამ. BA}} = 0\%$$

2. ერთეული ვაგონის ღერძზე მოსული წონა

$$q_0 = 15 \text{ ტ}$$

3. ოთხღერძიანი ვაგონის წონითი წილი

$$\beta_4 = 0,3$$

4. ექვსღერძიანი ვაგონის წონითი წილი

$$\beta_6 = 0,7$$

5. რვაღერძიანი ვაგონის წონითი წილი

$$\beta_8 = 0$$

6. ოთხღერძიანი ვაგონის წონა

$$q_4 = 60 \text{ ტ}$$

7. ექვსღერძიანი ვაგონის წონა

$$q_6 = 90 \text{ ტ}$$

8. რვაღერძიანი ვაგონის წონა

$$q_8 = 120 \text{ ტ}$$

9. რვაღერძიანი ვაგონის სიგრძე

$$L_4 = 15 \text{ მ}$$

10. ექვსღერძიანი ვაგონის სიგრძე

$$L_6 = 17 \text{ მ}$$

11. რვაღერძიანი ვაგონის სიგრძე

$$L_8 = 30 \text{ მ}$$

12. სადგურის ლიანდაგების სასარგებლო სიგრძე

$$L_{\text{სად}} = 1050 \text{ მ}$$

13. გზის გრძივი პროფილის სიგრძე

$$L_{\text{გზ}} = 24,2 \text{ კმ}$$

აღნიშნული მონაცემები კონკრეტული ლოკომოტივის ტიპისათვის შეირჩევა წვეის გაანგარიშების წესებიდან.

ნახაზზე 25. ნაჩვენებია აღნიშნული მონაცემების შეტანის ფორმა პროგრამა Mathcad-ში.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, პროგრამაში ცვლადების შეყვანა ხდება ვიზუალურად გასაგები ფორმით ყოველგვარი ცვლადის შემყვანი ოპერატორის გამოყენების გარეშე, რაც უდავოდ შერჩეული საბაზო პროგრამის დადებით მხარეზე მიუთითებს. მონაცემების ცვლილიერა საშუალებას იძლევა მარტივად ვცვალოთ საჭირო ცვლადების მნიშვნელობა, რაც პროგრამას ხდის უნივერსალური ხასიათის მქონეს.

ცვლადების შეყვანის ასეთი მარტივი ფორმა მეტად მოსახერხებელია გამოთვლითი პროცესის ჩასატარებლად და არ მოითხოვს ფუნდამენტურ ცოდნას თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერების პროგრამირებაში.

წევის გაანგარიშების ანალიზური მეთოდი

მოცემულია

1 ელმავის სერია **БП10**

ელექტრომავლის საანგარიშო წევის ძალა	$F_{\text{საან}} := 46000$	კგძ
ლოკომოტივის დაძვრის წევის ძალა	$F_{\text{დაძ}} := 62600$	კგძ
ელექტრომავლის სიგრძე	$L_{\text{ე}} := 33$	მ
ელექტრომავლის წონა	$P := 184$	ტ
საანგარიშო სიჩქარე	$V_{\text{საან}} := 46.7$	კმ
ქანობი რომელზეც ხდება შემადგენლობის დაძვრა	AB	$i_{\text{დაძAB}} := 0$ %
ქანობი რომელზეც ხდება შემადგენლობის დაძვრა	BA	$i_{\text{დაძBA}} := 0$ %
2ვაგონის ღერძზე მოსული წონა	$q_0 := 15$	ტ
3 ოთხ ღერძიანი ვაგონების წონიტი წილი	$\beta_4 := 0.3$	
4 ექვს ღერძიანი ვაგონების წონითი წილი	$\beta_6 := 0.7$	
5 რვა ღერძიანი ვაგონების წონითი წილი	$\beta_8 := 0$	
6 ოთხ ღერძიანი ვაგონების წონა	$q_4 := 60$	ტ
7 ექვს ღერძიანი ვაგონების წონა	$q_6 := 90$	ტ
8 რვა ღერძიანი ვაგონების წონა	$q_8 := 120$	ტ
9 ოთხ ღერძიანი ვაგონის სიგრძე	$L_4 := 15$	მ
10 ექვს ღერძიანი ვაგონის სიგრძე	$L_6 := 17$	მ
11 რვა ღერძიანი ვაგონის სიგრძე	$L_8 := 30$	მ
12 სადგურის ლიანდაგის სასარგებლო სიგრძე	$L_{\text{სად}} := 1050$	მ
13 გზის გრძივი პროფილი	$L_{\text{გპ}} := 24.2$	კმ

ნახ. 25. პროგრამა Mathcad-ში მონაცემების შეტანის ფორმა

## 2.6.2. ქანობის ელემენტების დამუშავება და საანგარიშო ქანობის არჩევა ე.გ.მ.-ზე

როგორც აღვნიშნეთ 2.6.1. პარაგრაფში მოსამზადებელი სამუშაოს ერთ-ერთი პუნქტი ეხება პროფილის დამუშავებას ისეთი ფორმით, რომ ის მოსახერხებელი გახდეს შემდგომი გაანგარიშებებისათვის (იხ. პირველი თავი).

ქანობების გაერთიანება, რაც გულისხმობს გარკვეული დაშვებების გზით მეზობელი ელემენტების ერთ საერთო ქანობად წარმოდგენას მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების გრაფიკული ან გრაფო-ანალიზური მეთოდით გადაწყვეტისას, მეტად მნიშვნელოვანი და საპასუხისმგებლო საქმეა, ძვირადღირებული დროის დაზოგვის მიზნით მიზანშეწონილია არსებული მეთოდების დროს პროფილის ელემენტების ანალიზი და მათი შემდგომი გაერთიანება, თუმცა ამას თან ახლავს შესაბამისი დასაშვები ცდომილება, რაც გარდაუვალი პროცესია. მუშაობის სხვადასხვა ეტაპზე დასაშვები ცდომილების რაოდენობა იკრიბება და საკმაოდ დიდ მნიშვნელობებს აღწევს, განსაკუთრებით მაშინ, როცა საქმე გვაქვს დიდი რაოდენობის ქანობის ელემენტებთან. ამ დროს ძვირადღირებული დროის დიდი ნაწილი ასევე იხარჯება ქანობის ელემენტების ანალიზზე, რაც გულისხმობს მეზობელი ელემენტების შემოწმებას დასაშვებ ცდომილებაზე, რათა ის არ გასცდეს წვეის გაანგარიშების წესებით დადგენილ ფარგლებს. არსებული ანალიზის შედეგების საფუძველზე მიიღება გადაწყვეტილება ელემენტების გაერთიანება არ გაერთიანებაზე.

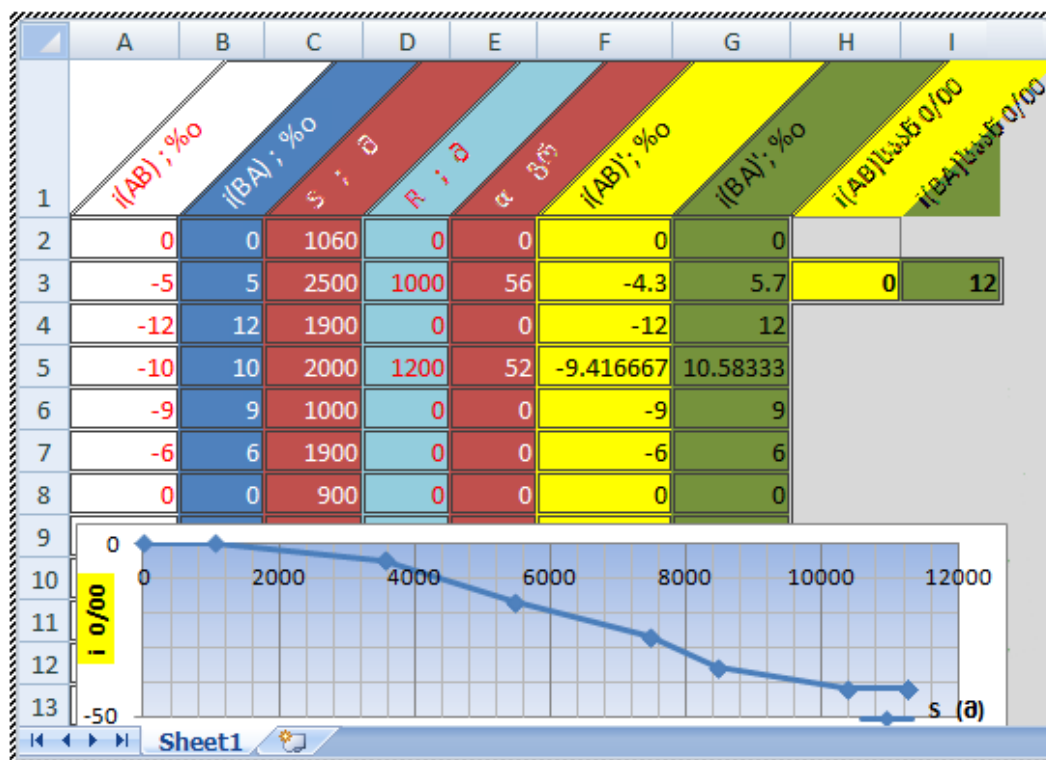
თანამედროვე ე.გ.მ.-ის გამოყენება საშუალებას იძლევა შევამციროთ არსებული დასაშვები ცდომილება, თუ უარს ვიტყვით პროფილის ელემენტების გაერთიანების პროცედურის წარმოებაზე.

კომპიუტერის შესაძლებლობები თეორიულად საშუალებას იძლევა ვიმუშაოთ ქანობის ელემენტების უსასრულო რაოდენობასთან, ე.გ.მ.-სთვის მნიშვნელობა არა აქვს, რა რაოდენობის ქანობის ელემენტებთან გვაქვს საქმე, მთავარია ამოცანის სწორად დასმა და კომპიუტერის მეხსიერებაში ამოცანის გადაწყვეტის სწორი ალგორითმის შეტანა. თუმცა უნდა აღინიშნოს ის გარემოებაც, რომ კომპიუტერის ოპერა-

ციული გადაწყვეტილებების მისაღებად შედარებით დიდი დროა საჭირო, მაშინ როცა ქანობების რაოდენობა დიდია, ეს თანმდევი პროცესია და დამოკიდებულია ე.გ.მ.-ის შესაძლებლობებზე. რამდენიმე წამით დაყოვნება ინფორმაციის მისაღებად არ შეედრება პრაქტიკული ანგარიშის ჩატარების დროს პროფილის ანალიზზე და შემდგომ გაანგარიშებებზე დახარჯული დროის რაოდენობას, რომლის ხანგრძლივობაც ქანობის ელემენტების რაოდენობაზე და ანგარიშის ჩატარების ხარისხზეა პირდაპირ დაკავშირებული და რიგ შემთხვევაში „კალკულატორით“ ანგარიშის და დიაგრამების აგების გათვალისწინებით რამოდენიმე დღესაც კი აღწევს. ცნობილი ფაქტია, რომ აღნიშნული წვეის გაანგარიშება რაც საკუროსო პროექტის სახით მოითხოვება ს.ტ.უ-ს ელ. ტრანსპორტის კათედრაზე მეოფი სტუდენტებისათვის მთელი სემესტრის მანძილზე სრულდება წვეის ამოცანების თანდათანობითი შესწავლის გზით.

ქანობის ელემენტების გაერთიანებაზე უარის თქმა, ერთის მხრივ, ამცირებს დასაშვებ ცდომილებაზე შემოწმების დროის რაოდენობას და მეორე მხრივ ზრდის შედეგების სიზუსტეს, რაც მეტად მნიშვნელოვანია. ჩვენს მიერ შექმნილი კომპიუტერული პროგრამა ამ ფაქტორების გათვალისწინებით არ ახორციელებს ქანობის ელემენტების გაერთიანებას. აქედან გამომდინარე, გზის გრძივი პროფილი მიიღება რეალური სახით და სრულად ასახავს იმ პროცესებს, რაც ქანობის ელემენტების გაერთიანების დროს ნაწილობრივ იკარგება ან სრული სახით არ წარმოჩნდება.

როგორც აღვნიშნეთ თავის დასაწყისში, საბაზო პროგრამა Mathcad 14-ის ერთ-ერთი დადებითი მხარე არის ის, რომ მასში გარდა პროგრამით გათვალისწინებული სხვადასხვა მოქმედებისა, შესაძლებელია სხვა დამოუკიდებელი პროგრამის ელემენტების გამოყენება, რაც პროგრამირების დროს მეტად მნიშვნელოვანია. მაგალითად, როცა საჭიროა ცხრილებთან მუშაობა მოსახერხებელია Microsoft Office Excel 2007-ის ელემენტების გამოყენება, რასაც ვიყენებთ პროგრამირების დროს. ნახ. 26-ზე ნაჩვენებია ამონარიდი ჩვენს მიერ შექმნილი პროგრამიდან, სადაც მოყვანილია გზის პროფილი მოცემული ანალიზური ფორმით.



$$i_{საან.AB} = 0.00 \quad \%o$$

$$i_{საან.BA} = 12.00 \quad \%o$$

ნახ. 26. გზის პროფილი და საანგარიშო ქანობის არჩევა.

ნებისმიერი ქანობი ხასიათდება  $h$  სიმაღლით და  $S$  გაგრძელების სიდიდით. ცხრილში ოპერატორის მიერ აღნიშნული სიდიდეების შეყვანა ხდება A, C, D და E სვეტებში. A სვეტში ოპერატორის მიერ შეიყვანება  $i$  ქანობის ელემენტის სიმაღლე რომელიც მოიცემა ( $\%$ o)-ში. შესაბამისად “-” ნიშნით აღინიშნულია  $h$  სიდიდის უარყოფითი მნიშვნელობა. უფრო გასაგები ენით რომ ვთქვათ, დადებითი, “+” ნიშნით  $h$  სიდიდის დადებითი მიმართულება ანუ აღმართი. აღნიშნულ სვეტებში შეიყვანება ინფორმაცია მატარებლის “AB” მიმართულებით მოძრაობისას. “C” სვეტში შეიყვანება ქანობის გაგრძელების სიდიდე, “E” სვეტში მრუდების არსებობის შემთხვევაში შეგვყავს მათი სიგრძის რადიუსის სიდიდე, დანარჩენი მოქმედებები ცხრილში ავტომატურად ხორციელდება, კერძოდ დამოუკიდებლად ხდება “AB” და “BA” მიმარ-

თულებით “F” და “G” სვეტებში მრუდების არსებობის შემთხვევაში ქანობის შესწორება, რაც გულისხმობს მრუდის გავლენის ასახვას მატარებლის მოძრაობაზე. წარმოვადგენთ რა მას წარმოსახვითი ქანობის სახით, ე.ი. რეალურ ქანობს ვცვლით ფიზიკური ქანობით. [11]

ფიზიკური ქანობი მიიღება რეალურ ქანობის ელემენტზე წარმოსახვითი ქანობის სიდიდის დამატებით. “H3” და “I3” უჯრაში მოიცემა საანგარიშო ქანობის მნიშვნელობა შესაბამისი “AB” და “BA” მიმართულებით, თვალსაჩინოებისათვის აქვე ხდება გზის პროფილის გრაფიკული ვიზუალიზაცია, საანგარიშო ქანობის მნიშვნელობების “ექსპორტი” ხდება ავტომატურად პროგრამაში შემდგომი გაანგარიშების საწარმოებლად.

### 2.6.3. მატარებლის წონის განსაზღვრა ე.გ.მ-ის გამოყენებით

გარდა გზის პროფილზე სამუშაოს ჩატარებისა მოსამზადებელ სამუშაოს განეკუთვნება ასევე მატარებლის წონის განსაზღვრა მატარებლის წონა განისაზღვრება და წარმოებს საანგარიშო ქანობის და ადგილიდან დაძვრის პირობით. მიღებული შედეგების მიხედვით აირჩევა მატარებლის შემადგენლობა ოპტიმალური წონით, რომელიც მოწმდება სადგურის ლიანდაგებში ჩატევაზე. [11]

ამ ამოცანის ტრადიციული ფორმით გადაწყვეტა მიკროკალკულატორების გამოყენებით შრომატევადი და დამღლელი პროცესია. პერსონალური კომპიუტერების გამოყენება კი, როგორც ცნობილია, მოითხოვს შესაბამის ცოდნას პროგრამირების სფეროში. Mathcad-14-ის უნიკალური ინტერფეისის მეშვეობით მარტივად შეიძლება მოვახდინოთ გამოთვლების ოპტიმიზაცია. სხვა მათემატიკური პაკეტ-პროგრამებისგან განსხვავებით Mathcad-ში ფორმულების და საჭირო ცვლადების შეყვანა პირდაპირ ხდება ყოველგვარი ცვლადების შემყვანი ოპერატორების გამოყენების გარეშე, ფორმულების ჩაწერა ხდება ჩვეულებრივი ფორმით (იხ. ნახ. 27ა) და ამგვარად არ მოითხოვება სიდრმისეული ცოდნა პროგრამირების განხორციელებისათვის.

ა)

მატარებლის წონის განსაზღვრა

იმისათვის რომ განვსაზღვროთ მატარებლის წონა საანგარიშო ქანობის მიხედვით აუცილებელია დავადგინოთ  $W_0$  ლოკომოტივის წინააღმდეგობის ძალა და  $W_0$  ვაგონთა შემადგენლობის ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა :

$$W_0 := 1.9 + 0.01 \cdot V_{\text{საან}} + 0.0003 \cdot V_{\text{საან}}^2 = 3 \quad \frac{\text{კგმ}}{\text{ტ}}$$

სადაც  $V_{\text{საან}}$  საანგარიშო სიჩქარეა.

ოთხ ლერმიანი, ექვს ლერმიანი და რვა ლერმიანი ვაგონების საშუალო დაწოლა ლერძზე იანგარიშება:

$$q_{04} := \frac{q_4}{4} \quad \text{ტ} \quad q_{06} := \frac{q_6}{6} \quad \text{ტ} \quad q_{08} := \frac{q_8}{8} \quad \text{ტ}$$

ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა - ოთხ ლერმიანი, ექვს ლერმიანი და რვა ლერმიანი ვაგონებისათვის შესაბამისად გამოითვლება შემდეგი ფორმულებით:

$$W_{04} := 0.7 + \frac{3 + 0.1 \cdot V_{\text{საან}} + 0.0025 \cdot V_{\text{საან}}^2}{q_{04}} = 1.57 \quad \frac{\text{კგმ}}{\text{ტ}}$$

$$W_{06} := 0.7 + \frac{8 + 0.08 \cdot V_{\text{საან}} + 0.002 \cdot V_{\text{საან}}^2}{q_{06}} = 1.77 \quad \frac{\text{კგმ}}{\text{ტ}}$$

$$W_{08} := 0.7 + \frac{6 + 0.038 \cdot V_{\text{საან}} + 0.0021 \cdot V_{\text{საან}}^2}{q_{08}} = 1.52 \quad \frac{\text{კგმ}}{\text{ტ}}$$

ვაგონთა შემადგენლობის ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა გამოითვლება:

$$W_0 := \beta_4 \cdot W_{04} + \beta_6 \cdot W_{06} + \beta_8 \cdot W_{08} = 1.71 \quad \frac{\text{კგმ}}{\text{ტ}}$$

ბ)

დანგარიშებული სიდიდეების გათვალისწინებით მატარებლის წონის განსაზღვრა სახელმძღვანელო ქანობის მიხედვით, პირობითად მიღებული AB და BA მიმართულებებით ხდება შემდეგი ფორმულით :  $\frac{F_{\text{საან}} - P \cdot (W_0 + i_{\text{საან}})}{W_0 + i_{\text{საან}}}$  ; პროცესების გათვალისწინებით აღნიშნული მიმართულებებით ანგარიში მოცუვნილია ქვემოთ:

$$Q_{\text{სკAB}} := \begin{cases} \frac{F_{\text{საან}} - P \cdot (W_0 + i_{\text{საან.AB}})}{W_0 + i_{\text{საან.AB}}} & \text{if } i_{\text{საან.AB}} > 0 \\ Q_{\text{სკAB}} \leftarrow 0 & \text{if } i_{\text{საან.AB}} \leq 0 \\ \frac{F_{\text{საან}} - P \cdot (W_0 + i_{\text{საან.AB}})}{W_0 + i_{\text{საან.AB}}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Q_{\text{სკAB}} = 0 \quad \text{ტ}$$

$$Q_{\text{სკBA}} := \begin{cases} \frac{F_{\text{საან}} - P \cdot (W_0 + i_{\text{საან.BA}})}{W_0 + i_{\text{საან.BA}}} & \text{if } i_{\text{საან.BA}} > 0 = 3153 \\ Q_{\text{სკBA}} \leftarrow 0 & \text{if } i_{\text{საან.BA}} \leq 0 \\ \frac{F_{\text{საან}} - P \cdot (W_0 + i_{\text{საან.BA}})}{W_0 + i_{\text{საან.BA}}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad Q_{\text{სკBA}} = 3153 \quad \text{ტ}$$

ნახ. 27. მატარებლის წონის განსაზღვრა საანგარიშო ანუ სახელმძღვანელო ქანობის მიხედვით



მატარებლის წონის განსაზღვრა ადგილიდან დაძვრის პირობით

ვაგონის ძირითადი წინააღმდეგობის ძალა რომელსაც გააჩნია გორგოლაჭიანი საკისრები გამოითვლება:

$$W_{\text{ვაგ.დამ}} := \frac{28}{q_0 + 7} = 1.3 \quad \frac{\text{კგმ}}{\text{ტ}}$$

მატარებლის მოძრაობის საშუალო შეწონილი წინააღმდეგობა ადგილიდან დაძვრისას გამოითვლება:

$$W_{\text{შემ.დამ}} := \beta_4 \cdot W_{\text{ვაგ.დამ}} + \beta_6 \cdot W_{\text{ვაგ.დამ}} + \beta_8 \cdot W_{\text{ვაგ.დამ}} = 1.27 \quad \frac{\text{კგმ}}{\text{ტ}}$$

Q დამ AB და BA მიმართულებით იმის გათვალისწინებით, რომ ნორმალურ პირობებში მატარებლის დაძვრა სადგურის ლიანდაგებში ხდება  $i_{\text{დამ}}=0$  იანგარიშება:

$$Q_{\text{დამBA}} := \frac{F_{\text{დამ}}}{W_{\text{შემ.დამ}} + i_{\text{დამBA}}} = 4918 \text{ ტ} \quad Q_{\text{დამAB}} := \frac{F_{\text{დამ}}}{W_{\text{შემ.დამ}} + i_{\text{დამAB}}} = 49186 \text{ ტ}$$

$$\begin{aligned} AB := & \begin{cases} \text{"ადგილიდან დაძვრის პირობა სრულდება"} & \text{if } Q_{\text{დამAB}} > Q_{\text{სქAB}} \\ \text{"შენიშვნა: ადგილიდან დაძვრის პირობა არ სრულდება"} & \text{if } 0 \geq Q_{\text{დამAB}} \\ \text{"გადაამოწმე! შეცდომაა გაანგარიშებაში"} & \text{if } Q_{\text{სქAB}} < 0 \\ \text{"შენიშვნა: ადგილიდან დაძვრის პირობა არ სრულდება!"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ BA := & \begin{cases} \text{"ადგილიდან დაძვრის პირობა სრულდება"} & \text{if } Q_{\text{დამBA}} > Q_{\text{სქBA}} \\ \text{"შენიშვნა: ადგილიდან დაძვრის პირობა არ სრულდება"} & \text{if } 0 \geq Q_{\text{დამBA}} \\ \text{"გადაამოწმე! შეცდომაა გაანგარიშებაში"} & \text{if } Q_{\text{სქBA}} < 0 \\ \text{"შენიშვნა: ადგილიდან დაძვრის პირობა არ სრულდება!"} & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

AB = " ადგილიდან დაძვრის პირობა სრულდება "

BA = " ადგილიდან დაძვრის პირობა სრულდება "

ნახ. 28. მატარებლის წონის განსაზღვრა ადგილიდან დაძვრის პირობით

რიგ შემთხვევაში გაანგარიშების პროცესის მართვისთვის აუცილებელი ხდება სპეციალური ღონისძიებების განხორციელება. ასე მაგალითად, მატარებლის წონის განსაზღვრა საანგარიშო ქანობის გათვალისწინებით (ნახ. 27). იმ შემთხვევაში, როცა ფიზიკურად არ

გვაქვს საანგარიშო ქანობი, სრული უაზრობაა, ამიტომ ასეთი შემთხვევის არსებობისას აუცილებელი ხდება პირობითი “IF” ოპერატორის გამოყენება (ნახ. 27.ბ). პირობითი ოპერატორი “IF” მოქმედებს ორ ეტაპად: ჯერ მოწმდება ოპერატორის მარჯვნივ ჩაწერილი პირობა და თუ პირობა “ჭეშმარიტია”, სრულდება ოპერატორის მარცხენა მხარეში მყოფი გამოსახულება. [31]

პროგრამისათვის ინტერაქტიული სახის მისაცემად მარტივად ვიყენებთ ლოგიკურ “IF” ოპერატორს, მაგალითად მატარებლის წონის განსაზღვრის შემთხვევაში ადგილიდან დაძვრის პირობით, რომელიც ილუსტრირებულია ნახაზზე 28. თუ  $Q_{ად} > Q_{სქ}$  პირობა “ჭეშმარიტია” გამოდის შეტყობინება “ადგილიდან დაძვრის პირობა სრულდება”, “მცდარი” პირობის შემთხვევაში გამოდის შენიშვნა: “ადგილიდან დაძვრის პირობა არ სრულდება”, თუ რაღაც მიზეზის გამო საანგარიშო ქანობი პროგრამამ შეცდომით აირჩია “–” ნიშნის მქონე ელემენტი, მაშინ გამოდის შეტყობინება “გადაამოწმე! შეცდომაა გაანგარიშებაში”.

მატარებლის დასაშვების სიგრძის განსაზღვრა ნაჩვენებია ნახ. 29-ზე. მატარებლის რეალური სიგრძის დასადგენად საჭიროა ოთხ-ღერძიანი, ექვსღერძიანი და რვაღერძიანი ვაგონების რაოდენობის განსაზღვრა საერთო შემადგენლობაში. იმ შემთხვევაში, თუ რომელიმე მიმართულებით მოძრაობისას საანგარიშო ქანობი არ გვაქვს, მაშინ მატარებლის რეალური სიგრძის დადგენა არაა საჭირო და შესაბამისად მატარებლის ეფექტური წონის შერჩევა ამ მიმართულებით უნდა მოხდეს შემადგენლობის ერთი გრძივი მეტრი წონის დადგენით (იხ. ნახ. 30), ხოლო რადგან ეფექტური წონის განსაზღვრა არ ხდება ისეთი ფორმულით, სადაც ცვლადებად შედის ვაგონთა რაოდენობა აზრი არა აქვს ამ მიმართულებით ვაწარმოოთ აღნიშნული გაანგარიშება. რადგან ჩვენ არ გვაქვს საანგარიშო ქანობი AB პირობითი მიმართულებით, ეკრანზე გამოდის კომენტარი “შენიშვნა AB მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს”, პირობითი BA მიმართულებით კი შემდგომი ანგარიშებისათვის განისაზღვრება ოთხღერძიანი, ექვსღერძიანი და რვაღერძიანი ვაგონების რაოდენობა შემადგენლობაში.

შემადგენლობის რეალური სიგრძის განსაზღვრის პროცედურა ნაჩვენებია ნახ. 30-ზე. აქაც, როგორც წინა შემთხვევაში, თუ  $Q_{სქ}$  არ გვაქვს რომელიმე მიმართულებით, არაა აუცილებელი განისაზღვროს შემადგენლობის რეალური სიგრძე, რადგან ეფექტური წონის დადგენა სხვა მეთოდით ხდება და ამიტომ იმ პირობითი მიმართულებით, სადაც

საანგარიშო ქანობი არ გვაქვს ჩვენს შემთხვევაში, ეს არის AB მიმართულება, შემადგენლობის სიგრძის გასწვრივ გამოდის კომენტარი „შენიშვნა; AB მიმართულებით არ ვანგარიშობთ“. BA პირობითი მიმართულებით ანგარიში ჩვეულებრივად წარმოებს.

მომრავი შემადგენლობის დასაშვები სიგრძე გამოითვლება ფორმულით:

$$L'_{შმ} := L_{სად} - n \cdot L_{\gamma} - 10 = 1007 \quad 8$$

4, 6 და 8 ღერძიანი ვგონების რიცხვი შემადგენლობაში საჭიროების შემთხვევაში გამოითვლება შემდეგი ლოგიკური ფორმით:

$$\begin{aligned} n_4 &:= \begin{cases} \text{"შენიშვნა ;AB მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს"} & \text{if } Q_{სქAB} = 0 \\ \frac{\beta_4 \cdot Q_{სქAB}}{q_4} & \text{otherwise} \end{cases} \\ n_6 &:= \begin{cases} \text{"შენიშვნა ;AB მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს"} & \text{if } Q_{სქAB} = 0 \\ \frac{\beta_6 \cdot Q_{სქAB}}{q_6} & \text{otherwise} \end{cases} \\ n_8 &:= \begin{cases} \text{"შენიშვნა ;AB მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს"} & \text{if } Q_{სქAB} = 0 \\ \frac{\beta_8 \cdot Q_{სქAB}}{q_8} & \text{otherwise} \end{cases} \\ n'_4 &:= \begin{cases} \text{"შენიშვნა ;BA მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს"} & \text{if } Q_{სქBA} = 0 \\ \frac{\beta_4 \cdot Q_{სქBA}}{q_4} & \text{otherwise} \end{cases} \\ n'_6 &:= \begin{cases} \text{"შენიშვნა ;BA მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს"} & \text{if } Q_{სქBA} = 0 \\ \frac{\beta_6 \cdot Q_{სქBA}}{q_6} & \text{otherwise} \end{cases} \\ n'_8 &:= \begin{cases} \text{"შენიშვნა ;BA მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს"} & \text{if } Q_{სქBA} = 0 \\ \frac{\beta_8 \cdot Q_{სქBA}}{q_8} & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

$$n_4 = \text{"შენიშვნა ;AB მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს"}$$

$$n_6 = \text{"შენიშვნა ;AB მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს"}$$

$$n_8 = \text{"შენიშვნა ;AB მიმართულებით ანგარიშს არ საჭიროებს"}$$

$$n'_4 = 16$$

$$n'_6 = 25$$

$$n'_8 = 0$$

ნახ. 29. მატარებლის წონის შემოწმება სადგურის ღიანდაგებში ჩატევის პირობით

შემადგენლობის რეალური სიგრძე AB და BA მიმართულებით გამოითვლება :

$$L'_{შემაAB} := \begin{cases} \text{"შენიშვნა :AB მიმართულებით არ ვანგარიშობთ"} & \text{if } Q_{სქAB} = 0 \\ n_4 \cdot L_4 + n_6 \cdot L_6 + n_8 \cdot L_8 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L'_{შემაBA} := \begin{cases} \text{"შენიშვნა :AB მიმართულებით არ ვანგარიშობთ"} & \text{if } Q_{სქBA} = 0 \\ n'_4 \cdot L_4 + n'_6 \cdot L_6 + n'_8 \cdot L_8 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L'_{შემაAB} = \text{"შენიშვნა :AB მიმართულებით არ ვანგარიშობთ"}$$

$$L'_{შემაBA} = 653 \quad \text{მ}$$

$$L_{შემაBA} := \begin{cases} L'_{შემაBA} \leftarrow 0 & \text{if } Q_{სქBA} = 0 \\ L'_{შემაBA} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L_{შემაBA} = 653 \quad \text{მ}$$

ნახ. 30. შემადგენლობის რეალური სიგრძის განსაზღვრა.

მატარებლის შემაჯამებელი წონის დადგენა წარმოებს ზემოთ მოყვანილი გაანგარიშების საფუძველზე, იგი დგინდება  $Q_{სქ}$ ,  $Q_{დაძ}$ ,  $Q_{სლ}$ . გათვალისწინებით. მოცემული მიმართულებით შეიძლება გატარდეს მაქსიმალური წონის მატარებელი, რომელიც ამ სამი წონიდან მინიმალურის ტოლია.

იმ შემთხვევაში, როცა საანგარიშო ქანობი მოცემული მიმართულებით არ გვაქვს, როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, მატარებლის წონის განსაზღვრისთვის ვიანგარიშოთ შემადგენლობის 1 გრძივი მეტრის წონა, რომლის ნამრავლიც სადგურის ლიანდაგებში შემადგენლობის დასაშვებ სიგრძეზე გვაძლევს მატარებლის წონას მოცემული მიმართულებით.

### მატარებლის წონის დადგენა

ჩვენს მიერ ჩატარებული გამოთვლების მიხედვით მოცემულ პირობით AB და BA უბანზე გვაქვს საანგარიშო ქანობის გათვალისწინებით მატარებლის წონა  $Q_{სქ}; Q_{დამ}$  და სადგურის ლიანდაგების მიხედვით  $Q_{სლ}$ ; მოცემულ პირობით უბნებზე შეიძლება გატარებულ იქნას მაქსიმალური წონა. რომელიც ამ სამ წონათა შორის იქნება მინიმალური, ხოლო იმ შემთხვევაში როცა უბანზე საანგარიშო ქანობი არ გვაქვს შეზღუდვა ვრცელდება მხოლოდ სადგურის ლიანდაგებში ჩატევის მხრივ, ამიტომ შემადგენლობის ეფექტური წონა ამ მიმართულებით უნდა განესაზღვროთ შემდეგნაირად:

$$\alpha := \begin{cases} \frac{Q_{სქAB}}{L'_{შემAB}} & \text{if } Q_{სქAB} > 0 \\ \frac{Q_{სქBA}}{L'_{შემBA}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\alpha = 4.8$$

სადაც  $\alpha$  - არის რიალური მატარებლის ერთი გრძივი მეტრის წონა, მატარებლის წონა სადგურის ლიანდაგების მიხედვით გამოითვლება:

$$Q_{სლ} := \alpha \cdot L'_{შემ} = 4860$$

$$\begin{aligned} Q_{AB} &:= \begin{cases} \min(Q_{სქAB}, Q_{დამAB}, Q_{სლ}) & \text{if } Q_{სქAB} \neq 0 \\ \min(Q_{სლ}, Q_{დამAB}) & \text{otherwise} \end{cases} \\ Q_{AB} &:= \begin{cases} \text{"გადაამოწმე შეცდომა გაანგარიშებებში"} & \text{if } Q_{AB} \leq 0 \\ Q_{AB} & \text{otherwise} \end{cases} \\ Q_{BA} &:= \begin{cases} \min(Q_{სქBA}, Q_{დამBA}, Q_{სლ}) & \text{if } Q_{სქBA} \neq 0 \\ \min(Q_{სლ}, Q_{დამBA}) & \text{otherwise} \end{cases} \\ Q_{BA} &:= \begin{cases} \text{"გადაამოწმე შეცდომა გაანგარიშებებში"} & \text{if } Q_{BA} \leq 0 \\ Q_{BA} & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

$$Q := \begin{cases} \text{"პირობა სრულდება"} & \text{if } \begin{cases} \text{საან.}_{AB} = 0 & \text{if } Q_{დამAB} \geq Q_{სლ} \\ \text{"AB მიმართულებას აღნიშნული პირობა არ ეხება"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{"პირობა სრულდება"} & \text{if } \begin{cases} \text{საან.}_{BA} = 0 & \text{if } Q_{დამBA} \geq Q_{სლ} \\ \text{"BA მიმართულებას აღნიშნული პირობა არ ეხება"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{"ყურადღება"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

რელური მატარებლის ერთი გრძივი მეტრის გამოყენებით არჩეული წონა უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:  $Q_{დამ} \geq Q_{სლ}$ ;

$$Q = \text{"პირობა სრულდება"}$$

AB და BA მიმართულებით შერჩეული მატარებლის წონა:

$$Q_{AB} = 4860 \quad \text{ტ}$$

$$Q_{BA} = 3153 \quad \text{ტ}$$

ნახ. 31. შემაჯამებელი მატარებლის წონის განსაზღვრა.

#### 2.6.4. ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების გაანგარიშება და აპროქსიმაცია წილად-წრფივი ფუნქციით

მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების (15), (16) ანალიზური მეთოდით ინტეგრირება ემყარება ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების ანალიზური ფუნქციით აპროქსიმაციას. აპროქსიმაციის მიზანია მიახლოებითი ფუნქციის აგება, რომელიც ახლოს იქნება მითითებულ წერტილებთან ან უწყვეტ ფუნქციასთან, რომლის აპროქსიმაციაც კონკრეტულად ხორციელდება. ასეთი ამოცანა დგება მაშინ, როცა ამოსავალი მონაცემებში ცდომილებაა, ანდა მაშინ, როცა საჭიროა რთული ან უცნობი ფუნქციის გამარტივებული მათემატიკური აღწერა. რეალურ და აპროქსიმაციის შედეგად მიღებულ ფუნქციას შორის სიახლოვე განისაზღვრება რიცხვითი პირობით, რომელსაც აპროქსიმაციის კრიტერიუმს უწოდებენ. [32]

მოძრაობის მრუდების პრაქტიკული გაანგარიშება და აგება დაწვრილებითაა აღწერილი ნაშრომის მე-2 თავში. Mathcad-14-ის პაკეტ-პროგრამა იძლევა საშუალებას გარდა საკუთარი პროგრამირების საშუალებებისა გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა პროგრამის ელემენტები, კერძოდ ცხრილებთან მუშაობის დროს მოსახერხებელია Microsoft Office Excel 2007-ის ელემენტების გამოყენება ნახ. 32-ზე მოყვანილია ამაჩქარებელი ძალის მრუდის მისაღებად საჭირო ანგარიში. პროგრამა Excel-ის Sheet 1 ცხრილში სახელწოდებით “ამაჩქარებელი ძალის ანგარიში” შესაბამის B1, B2, B3, B4 და B5 უჯრებზე განთავსებულ Textbox-ში შესაბამისად ლოკომოტივის წონის (ტ), შემადგენლობის საერთო წონის (ტ), შემადგენლობაში ოთხდერძიანი, ექვსდერძიანი და რვადერძიანი ვაგონების წონითი წილის მნიშვნელობების შეყვანით ავტომატურ რეჟიმში საბოლოოდ „O” სვეტში ვიღებთ ხვედრითი ამაჩქარებელი ძალის მნიშვნელობას. ”O” და “C” სვეტების გამოყენებით აიგება  $(f-W_0)(v)$  დამოკიდებულება ამავე ცხრილის Sheet2-ში სახელწოდებით  $(f-W_0)(v)$ . რეალური ამაჩქარებელი ძალების მრუდი აგებული სახით ნაჩვენებია ნახ. 33-ზე (მრუდი 1). ამავე ნახაზზეა მოყვანილი აღნიშნული მრუდის აპროქსიმაცია წილად-წრფივი ფუნქციით (77) (მრუდი 2), სადაც აგებული რეალური ამაჩქარებელი ძალის მრუდის აპროქსიმაცია პროგრამა

Excel-ის Layout ფუნქციის Trendline განყოფილებაში Polynomial ფუნქციის 2 კოორდინატის მითითებით ხორციელდება რეალური ამაჩქარებელი ძალის მრუდის აპროქსიმაცია მეორე რიგის მრუდით, კერძოდ პარაბოლით (მრუდი 3), თუმცა ასეთი აპროქსიმაცია მოუხერხებელია, რადგან ინტეგრირების შედეგად მიიღება რთული ალგებრული გამოსახულებები და გარდა ამისა პარაბოლით აპროქსიმაცია მაღალი სიჩქარის დროს ზრდის გამოთვლების ცდომილებას რადგან პარაბოლის შტო გარკვეულ მომენტში აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას ანუ მწვერვალს და შემდეგ იწყებს დაღმასვლას, რაც აზრს უკარგავს ყოველგვარ აპროქსიმაციას. ჩვენს მიერ პარაბოლის მრუდის ნაწილზე შეთავაზებული ფუნქციის  $a$  და  $b$  კოეფიციენტების ავტომატური კორექტირებით, რომელიც ხორციელდება ცხრილის “D” სვეტის E24, E25, E26 და E27 უჯრებზე განთავსებულ Textbox-ში შესაბამისი  $V_1$ ,  $V_2$  და მათი შესაბამისი  $(f-W_0)_1$  და  $(f-W_0)_2$  ხვედრითი ძალების შეყვანით მიიღწევა შეთავაზებული ფუნქციით რეალური ამაჩქარებელი ძალის მრუდის აპროქსიმაცია მაქსიმალური სიზუსტით შემანელებელი ძალების გაანგარიშება და აგება ნაჩვენებია შესაბამისად ნახ. 34-ზე. და ნახ. 35-ზე. შემანელებელი ძალების გაანგარიშება და აგება ისევე პრინციპით მიმდინარებს როგორც ამაჩქარებელი ძალის ანგარიში, აქაც Sheet1 სახელწოდებით “შემანელებელი ძალების ანგარიში” ცხრილის “C” სვეტის C2, C3, C4, C5, C6 და C7 უჯრებზე მდებარე Textbox-ში ხდება შესაბამისად შემადგენლობის წონის (ტ), სამუხრუჭო კოეფიციენტის, ლოკომოტივის წონის (ტ), ოთხღერძიანი, ექვსღერძიანი და რვაღერძიანი ვაგონების წონითი წილის შეყვანით. ავტომატურ რეჟიმში მოიცემა R, S და T სვეტებში თავისუფალი გორვის, ექსტრემალური და სამოსამსახურეო დამუხრუჭების დროს ხვედრითი ძალის მნიშვნელობები. ცალკე “R”, “S”, “T” სვეტების “C” სვეტთან დამოკიდებულება შესაბამისად გვაძლევს შემანელებელი ძალების მრუდებს, რომლის აგება და აპროქსიმაცია ხორციელდება ამავე ცხრილის Sheet2-ში სახელწოდებით “შემანელებელი ძალების აგება”, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 35-ზე. აპროქსიმაციისათვის საჭირო კოეფიციენტების განსზღვრა, რაზეც მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული შემდგომი გაანგარიშებების სიზუსტე,



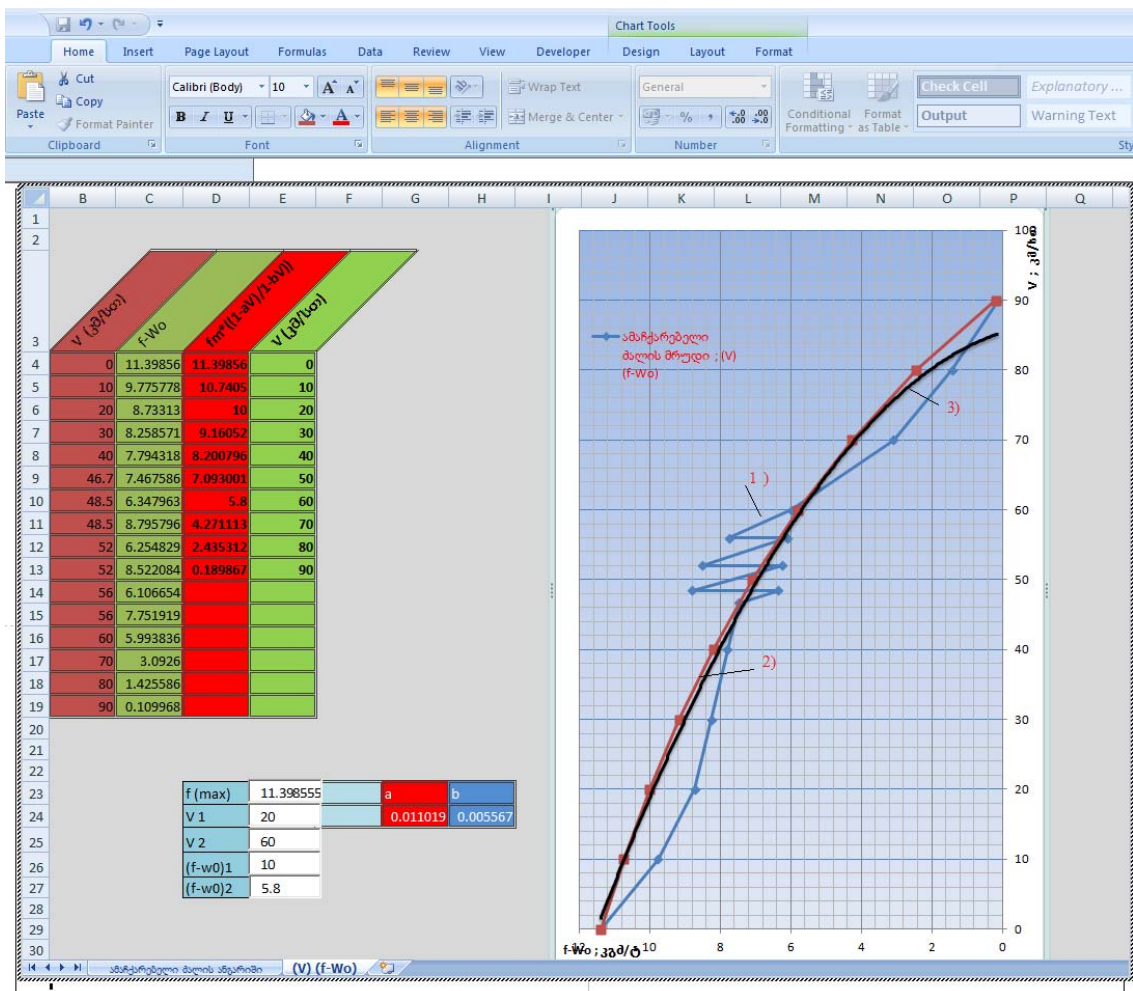
ავტომატურად ხორციელდება. ექსტრემალური დამუხრუჭების მრუდის აპროქსიმაციისათვის საჭირო  $m$  და  $n$  კოეფიციენტების ანგარიში წარმოებს B25 და B26 უჯრაზე მდებარე Textbox–ში, სამოსამსახურეო დამუხრუჭების  $m$  და  $n$  განისაზღვრება J24 და J25 უჯრებზე მდებარე Textbox–ში, ხოლო თავისუფალი გორვის  $m$  და  $n$  კოეფიციენტები განისაზღვრება R24 და R25 უჯრებზე განთავსებულ Textbox–ში სიჩქარის მნიშვნელობების შეყვანით. აპროქსიმაციის ვიზუალური კონტროლი ხორციელდება შესაბამის შემანელებელი ძალის მრუდზე აპროქსიმაციის შედეგად მიღებული მრუდის ზედდებით. რაც უფრო ზუსტია დამთხვევა რომელსაც შეესაბამება შესაბამისი  $m$  და  $n$  კოეფიციენტი კონკრეტული რეჟიმისათვის, მით უფრო ზუსტად წარიმართება შემდგომი გაანგარიშება. შემანელებელი ძალების მრუდების აპროქსიმაციის შედეგები მოყვანილია ნახ. 36–ზე. როგორც ნახაზიდან ჩანს, რეალური და აპროქსიმაციის შედეგად მიღებული მრუდების დამთხვევა იდეალურია.

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	P (ბ)	184																
2	Q (ბ)	4800																
3	β.4	0.3																
4	β.6	0.7																
5	β.8	0																
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		

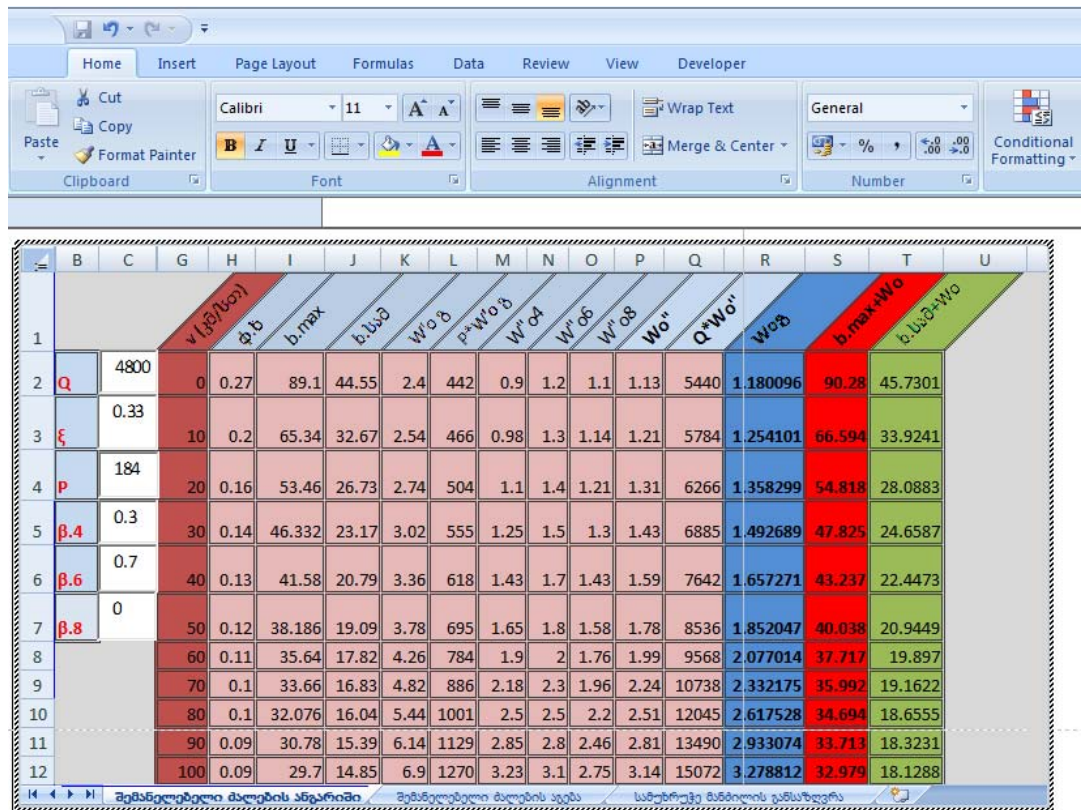
ნახ. 32. ამაჩქარებელი ძალის გაანგარიშება.



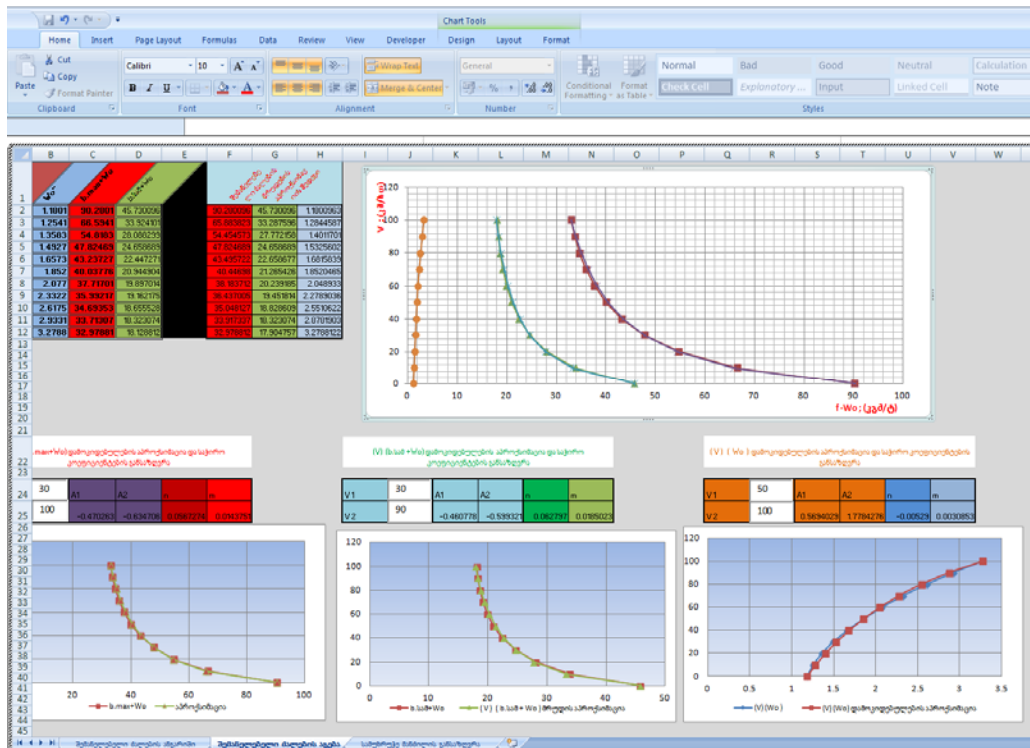
სამუხრუჭო მანძილის განსაზღვრა ნაჩვენებია ნახ. 37-ზე. იგი ხორციელდება ამავე ცხრილის Sheet3-ში სახელწოდებით “სამუხრუჭო მანძილის განსაზღვრა.” აღნიშნული ამოცანის გადაწყვეტის ტრადიციული გზები დაწვრილებითაა განხილული დისერტაციის ლიტერატურულ მიმოხილვაში. სამუხრუჭო მანძილის განსაზღვრა ხორციელდება მარტივად B2, B3, B4 უჯრებზე მდებარე Textbox-ზე ხორციელდება შემადგენლობაში ოთხდერძიანი, ექვსდერძიანი და რვადერძიანი ვაგონების წონითი წილის შეყვანა, B5 და B6 უჯრებზე მდებარე Textbox-ში შესაბამისად შეგვყავს ქანობის და დამუხრუჭების დაწყების  $V_1$  სიჩქარის მნიშვნელობა, სრული სამუხრუჭო მანძილი კი მოიცემა M3 უჯრაში, რომელიც განისაზღვრება როგორც  $S_{სრ.} = S_{მოს.} + S_{ნამ.} (მ)$ .



ნახ. 33. რეალური ამაჩქარებელი ძალის მრუდის აპროქსიმაცია.



ნახ. 34. ხვედრითი შემანელებელი ძალების გაანგარიშება.



ნახ. 35. შემანელებელი ძალების აპროქსიმაცია.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	$v_{\text{კმ/სთ}}$	$W_0''$	$b_{\text{max}} W_0$	$b_{\text{სპ}} W_0$				
2	0	1.1801	90.2801	45.7301		90.2801	45.7301	1.180096
3	10	1.2541	66.5941	33.9241		65.88382	33.2876	1.284459
4	20	1.3583	54.8183	28.0883		54.45457	27.77216	1.40117
5	30	1.4927	47.82469	24.65869		47.82469	24.65869	1.53256
6	40	1.6573	43.23727	22.44727		43.49572	22.65868	1.681584
7	50	1.852	40.03776	20.9449		40.44698	21.26543	1.852047
8	60	2.077	37.71701	19.89701		38.18371	20.23918	2.048933
9	70	2.3322	35.99217	19.16217		36.43701	19.45181	2.278904
10	80	2.6175	34.69353	18.65553		35.04813	18.82861	2.551062
11	90	2.9331	33.71307	18.32307		33.91734	18.32307	2.87819
12	100	3.2788	32.97881	18.12881		32.97881	17.90476	3.278812
13								
14								

ნახ. 36. შემანელებელი ძალების აპროქსიმაციის შედეგი.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2	$\beta_4$	0.3												
3	$\beta_6$	0.7												
4	$\beta_8$	0												
5	$i$	0												
6	$V_1$	60												
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14	$V_1$	$v_0$	$V_{\text{სპ}}$	$\phi_{\text{კ}}$	$b_{\text{სპ}}$	$W_0''$	$W_0''$	$W_0''$	$W_0''$	$t_{\text{მთ}} (\text{წმ})$	$S_{\text{რედ.}}$			
15	100	90	95	0.091565	24.17322	3.0375	2.943333	2.604167	2.150333	10	300.9852			
16	90	80	85	0.095143	25.11771	2.670833	2.65	2.326833	1.945	10	261.9471			
17	80	70	75	0.099474	26.26105	2.3375	2.383333	2.0775	1.758333	10	223.2383			
18	70	60	65	0.104824	27.67341	2.0375	2.143333	1.856167	1.590333	10	185.2463			
19	60	50	55	0.1116	29.4624	1.770833	1.93	1.662833	1.441	10	148.4303			
20	50	40	45	0.120462	31.80185	1.5375	1.743333	1.4975	1.310333	10	113.342			
21	40	30	35	0.132545	34.992	1.3375	1.583333	1.360167	1.198333	10	80.6569			
22	30	20	25	0.15	39.6	1.170833	1.45	1.250833	1.105	10	51.22221			
23	20	10	15	0.177429	46.84114	1.0375	1.343333	1.1695	1.030333	10	26.13247			
24	10	0	5	0.2268	59.8752	0.9375	1.263333	1.116167	0.974333	10	6.85297			
25														

ნახ. 37. სამუხრუჭო მანძილის განსაზღვრა.



### 2.6.5. მოძრაობის მრუდების გაანგარიშება და აგება ე.გ.მ.-ის გამოყენებით

მოძრაობის მრუდებს განეკუთვნება  $v(s)$ ,  $v(t)$  ან  $t(s)$  დამოკიდებულებები. სიჩქარის მრუდს უწოდებენ  $v(s)$  მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის გრაფიკულ დამოკიდებულებას გავლის მანძილზე. მისი აგების დროს ხელმძღვანელობენ იმით, რომ სიჩქარე ყოველთვის მიისწრაფის წონასწორობის მნიშვნელობისაკენ. ამიტომ მატარებლის გადასვლისას მომდევნო ქანობის ელემენტზე განსაზღვრავენ წვევის რეჟიმის დროს ამ სიჩქარის მნიშვნელობას ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების დიაგრამების გამოყენებით. მატარებლის უცვლელი რეჟიმით მოძრაობისას (წვეა, გორვა ან დამუხრუჭება) პროფილის ელემენტის ფარგლებში, სიჩქარის ცვლილება ხორციელდება, სანამ ის არ მიაღწევს დამყარებული სიდიდის მნიშვნელობას. ასეთ რეჟიმში მატარებელი აგრძელებს მოძრაობას პროფილის იმ ელემენტის ბოლომდე, რომელზეც მოხდა სიჩქარის დამყარება ან მანამდე, სანამ აღნიშნული პროფილის ელემენტის ფარგლებში არ შეიცვლება მოძრაობის რეჟიმი [2].

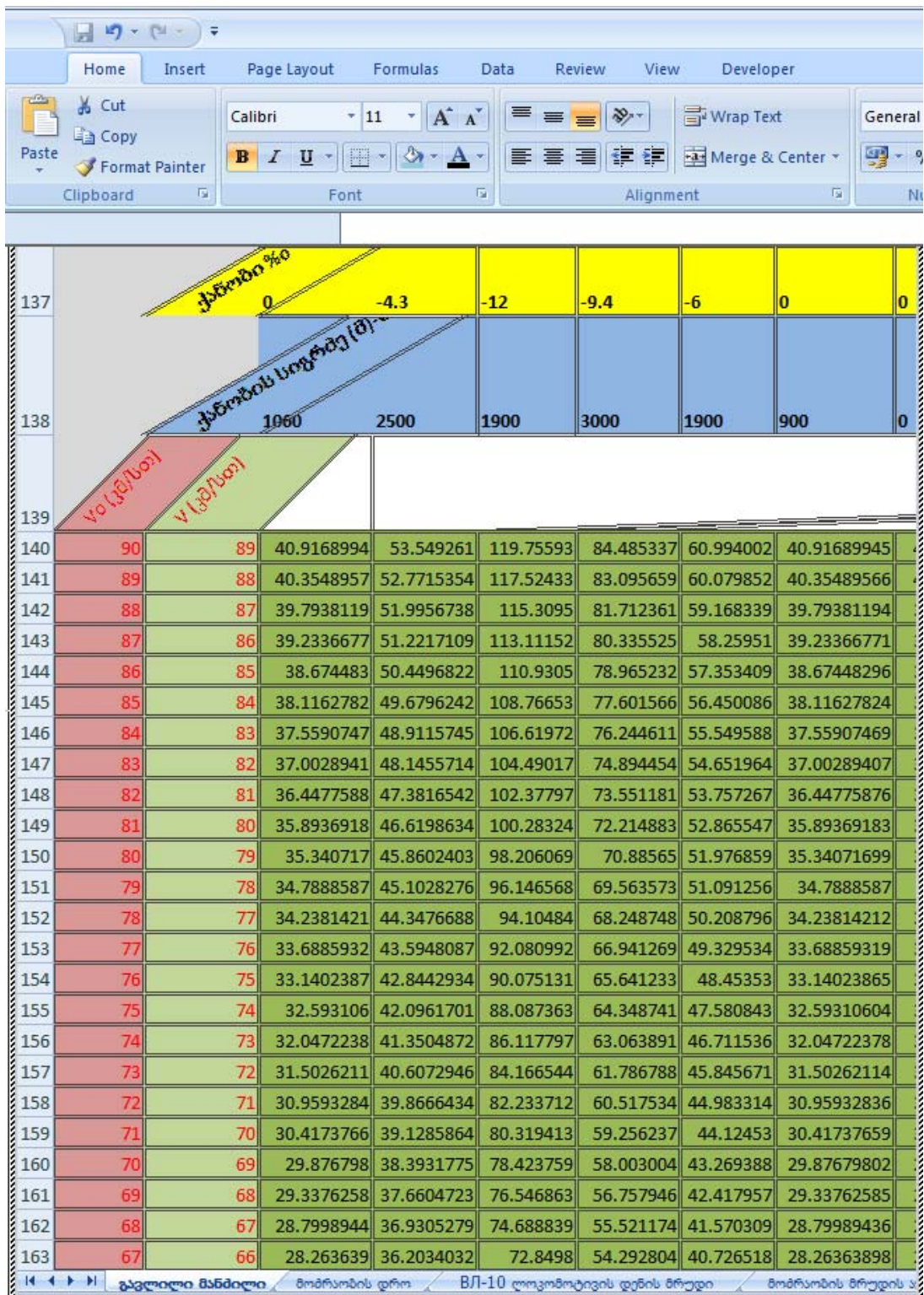
წონასწორობის სიჩქარის მნიშვნელობა ჩვეულებრივ განისაზღვრება ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების დიაგრამების გამოყენებით, აბსცისათა ღერძზე სადაც დატანილია ხვედრითი ძალები, ქანობის სიდიდის (%) გადაზომვით და მიღებულ მნიშვნელობაზე მართობის აღმართით. მართობის და ამაჩქარებელი (შემანელებელი) ძალის მრუდის გადაკვეთის წერტილის გეგმილი ორდინატთა ღერძზე გვაძლევს წონასწორობის სიჩქარის მნიშვნელობას. ნახ. 33-ზე ნაჩვენებია რეალური ამაჩქარებელი ძალის (მრუდი 1) და მისი აპროქსიმაცია (მრუდი 2) ჩვენს მიერ შეთავაზებული ფუნქციით იძლევა გარკვეულ სხვაობას წონასწორობის სიჩქარის განსაზღვრის დროს, ამიტომ წვევის რეჟიმში მატარებლის მოძრაობისას ადგილი ექნება გარკვეულ ცდომილებას დამყარებული სიჩქარით ქანობის ელემენტზე მოძრაობისას რაც ამ შემთხვევაში გარდაუვალია. სამუხრუჭო და გორვის რეჟიმის მრუდების აპროქსიმაცია იდეალურია (აპროქსიმაციის შედეგი იხ. ნახ. 36; გრაფიკული დამოხვევა იხ. ნახ. 35) და ამიტომ წონასწორობის სიჩქარის მნიშვნელობები ამ რეჟიმებში ერთმანეთის ტოლია, შესაბამისად წვევის რეჟიმისთვის დამახასიათებელ ცდომილებას ადგილი არ ექნება.

S გავლილი მანძილის ანგარიში მატარებლის მოძრაობის სხვადასხვა რეჟიმის გამოყენებით ხორციელდება (101), (103), (105)

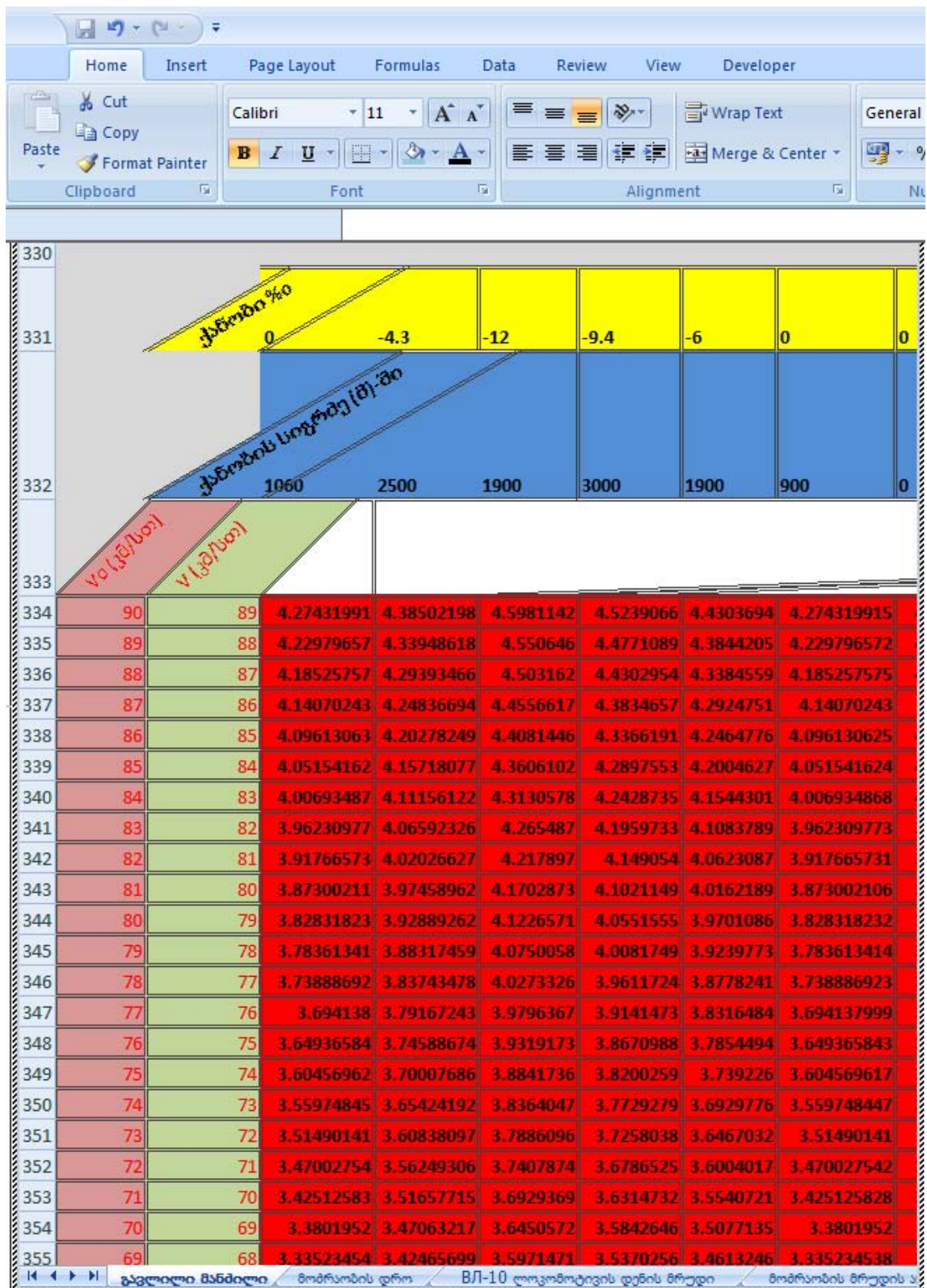
გამოსახულებების მეშვეობით. აღნიშნული ფორმულები განსაზღვრავენ  $\Delta S$  მანძილს  $[V_0, V_1]$  მონაკვეთის ფარგლებში აღნიშნული სიჩქარეების მნიშვნელობების მიცემა განსაზღვრავს ანგარიშის ბიჯს. თანამედროვე პერსონალური კომპიუტერი იძლევა საშუალებას ანგარიშებისათვის გამოვიყენოთ ნებისმიერი სიდიდის ბიჯი. გამოთვლების სიზუსტის გაზრდის მიზნით მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ერთეული ბიჯი ანუ აბსოლუტურ ერთეულებში ანგარიშების ჩატარებას ვახორციელებთ  $h=1$  კმ/სთ ბიჯით.  $\Delta S$  მანძილის ანგარიში წვევის რეჟიმის დროს ნაჩვენებია ნახ. 38 სამოსამსახურეო დამუხრუჭების რეჟიმის ანგარიშის მოყვანილია ნახ. 39. ექსტრემალური დამუხრუჭების რეჟიმის ანგარიში ნახ. 40. გორვის რეჟიმის ანგარიშის შესაბამისი ილუსტრაცია მოყვანილია ნახ. 41–ზე. აღნიშნული ანგარიშების წარმოებისათვის საჭიროა ცხრილის BS სვეტში განთავსებულ Textbox-ებში თანმიმდევრობით შევიყვანოთ წინასწარ განსაზღვრული ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების აპროქსიმაციის შედეგად მათი მრუდების მახასითებელი კოეფიციენტები  $a$ ,  $b$  და  $(f-w_0)$  წვევის რეჟიმის,  $(b-w_0)$ ,  $m$  და  $n$  სამოსამსახურეო და  $(b-w_0)_{\max}$ ,  $m_{\max}$  და  $n_{\max}$  ექსტრემალური დამუხრუჭების,  $w_0$ ,  $m_0$ ,  $n_0$ , გორვის რეჟიმის ანგარიშისათვის. BT სვეტში განთავსებულ Textbox-ებში შეგვყავს ქანობის მნიშვნელობების სიდიდე %, ხოლო BU სვეტში მდებარე Textbox-ებში მათი გავრცელების სიდიდე (მ); პროგრამა საშუალებას იძლევა ანგარიშები ვაწარმოოთ მაქსიმუმ 30 პროფილის ელემენტზე ერთდროულად.  $V_0$  და  $V$  სიჩქარის მნიშვნელობები, რომელიც ანგარიშის ჩატარების ბიჯს განსაზღვრავს შეყვანილია შესაბამისად BX და BY სვეტებში. რადგან ჩვენ ვახორციელებთ კომპიუტერული პროგრამის პრეზენტაციას, სიმარტივისათვის ანგარიშს ვაწარმოებთ 6 პროფილის ელემენტისათვის.  $\Delta S$  მანძილის ანგარიშის შედეგი შესაბამისი ქანობის ელემენტისათვის მოიცემა BZ, CA, CB, CC, CD, CE მწკრივში. ნახაზზე ნაჩვენებ CF და CG ისე როგორც დანარჩენი 24 ქანობის ელემენტის სვეტებში არსებული შედეგები შემდგომ გაანგარიშებებში არ იღებენ მონაწილეობას, რადგან მათ შესაბამის Textbox-ებში ქანობის სიდიდის და გავრცელების ადგილას მითითებულია “0”. ფაქტიურად ეს სვეტები იმყოფებიან მოლოდინის რეჟიმში და მათი გამოყენება მოხდება მაშინ, როცა მათ მიეცემათ შესაბამისი ქანობის სიდიდის და გავრცელების მნიშვნელობა.

	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG
1									0	-4.3	-12	-9.4	-6	0	0	
2		0.011	0	1060					1060	2500	1900	3000	1900	900	0	0
3																
4	b	0.0037	-4.3	2500					0	0.38064546	0.2732896	0.1815828	0.2047868	0.245874	0.380645458	0.380645458
5	(f-Wo)	11	-12	1900					2	1.14949641	0.82375827	0.5464626	0.6165417	0.7407687	1.149496409	1.149496409
6	(b-Wo)	45.72	-9.4	3000					2	1.92997619	1.38018137	0.9139563	1.0316259	1.2404749	1.929976189	1.929976189
7	m	0.018	-6	1900					4	2.72248393	1.94272392	1.2841216	1.4501177	1.7451178	2.722483931	2.722483931
8	n	0.062	0	900					4	1.52743725	2.5115571	1.6570181	1.872098	2.2548273	1.527437249	1.527437249
9	(b-Wo)	90.1	0	0					6	4.34527311	3.08685852	2.0327072	2.2976503	2.7697374	4.345273113	4.345273113
10	m	0.11321	0	0					7	5.17645001	3.66881255	2.411252	2.7268066	3.2899872	5.176450012	5.176450012
11	n	0.053575	0	0					8	6.0214472	4.25761063	2.7927178	3.1598178	3.8157209	6.021447196	6.021447196
12	Wo	1.2	0	0					9	6.88076801	4.85345163	3.1771715	3.5966137	4.3470876	6.880768007	6.880768007
13	m	0.0019	0	0					10	7.75494031	5.45654219	3.5646825	4.0373431	4.8842421	7.754940308	7.754940308
14	n	0.00063	0	0					11	8.64451823	6.06709711	3.9553219	4.4821041	5.4273449	8.644518227	8.644518227
15		0	0	0					12	9.5500838	6.68533976	4.3491635	4.9309978	5.9765624	9.550083803	9.550083803
16		0	0	0					13	10.4722488	7.31150253	4.7462832	5.384129	6.5320673	10.47224877	10.47224877
17		0	0	0					14	11.4116565	7.94582724	5.1467592	5.8416058	7.0940388	11.41165647	11.41165647
18		0	0	0					15	12.3689839	8.58856569	5.5066724	6.3035403	7.6626313	12.36898394	12.36898394
19		0	0	0					16	13.3449441	9.23998013	5.9581062	6.7700481	8.2381339	13.34494412	13.34494412
20		0	0	0					17	14.3402883	9.90034382	6.3691469	7.2412494	8.8206517	14.34028828	14.34028828
21		0	0	0					18	15.3558086	10.5699416	6.7838834	7.717268	9.4104256	15.35580863	15.35580863
22		0	0	0					19	16.3923411	11.2490706	7.2024078	8.1982326	10.007673	16.39234115	16.39234115
23		0	0	0					20	17.4507686	11.9380407	7.624815	8.6842763	10.612619	17.45076864	17.45076864
24		0	0	0					21	18.5320241	12.6371756	8.0512034	9.1755371	11.2255	18.53202408	18.53202408
25		0	0	0					22	19.6370942	13.346813	8.4816745	9.6721578	11.84656	19.6370942	19.6370942
26		0	0	0					23	20.7670234	14.067306	8.9163335	10.174287	12.476054	20.76702343	20.76702343
27		0	0	0					24	21.9229182	14.7990217	9.3552889	10.682078	13.114249	21.9229182	21.9229182
28		0	0	0					25	23.1059516	15.54232	9.7986535	11.195691	13.761421	23.10595156	23.10595156
29		0	0	0					26	24.3173683	16.2976948	10.246544	11.715291	14.417858	24.31736835	24.31736835
30		0	0	0					27	25.5584907	17.0654749	10.69908	12.241051	15.083863	25.55849067	25.55849067
31		0	0	0					28	26.8307241	17.8461351	11.156387	12.773148	15.759751	26.83072407	26.83072407
32		0	0	0					29	28.1355642	18.6401396	11.618595	13.311769	16.445849	28.13556418	28.13556418
33		0	0	0					30	29.4746041	19.4479752	12.085838	13.857106	17.142502	29.47460407	29.47460407
34		0	0	0					31	30.8495423	20.2701525	12.558254	14.40936	17.850067	30.84954229	30.84954229
35		0	0	0					32	32.2621918	21.1072077	13.035989	14.96874	18.568921	32.26219177	32.26219177
36		0	0	0					33	33.7144896	21.959704	13.519192	15.535462	19.299457	33.71448964	33.71448964
37		0	0	0					34	35.208508	22.8282335	14.008018	16.109753	20.042085	35.20850797	35.20850797
38		0	0	0					35	36.7464658	23.7134186	14.506229	16.601849	20.797237	36.7464658	36.7464658
39		0	0	0					36	38.3307424	24.6159149	15.003193	17.281994	21.565363	38.33074241	38.33074241
40		0	0	0					37	39.963892	25.5364125	15.509883	17.880444	22.346938	39.96389198	39.96389198
41		0	0	0					38	41.64866	26.4756387	16.02288	18.487466	23.142458	41.64866003	41.64866003
42		0	0	0					39	43.3880016	27.4343605	16.542373	19.103337	23.952445	43.38800165	43.38800165
43		0	0	0					40	45.1851019	28.4133748	17.068557	19.728949	24.777446	45.1851019	45.1851019
44		0	0	0					41	47.0433986	29.4135748	17.601636	20.362805	25.618038	47.04339863	47.04339863
45		0	0	0					42	48.966608	30.4358259	18.141822	21.00702	26.474827	48.96660797	48.96660797
46		0	0	0					43	50.9587523	31.4810967	18.689336	21.661327	27.348449	50.9587523	50.9587523
47		0	0	0					44	53.0241974	32.5503992	19.244409	22.326071	28.239577	53.02419741	53.02419741
48		0	0	0					45	55.1676793	33.6448053	19.807278	23.001615	29.148918	55.16767925	55.16767925
49		0	0	0					46	57.3943553	34.765452	20.378196	23.688337	30.077218	57.39435526	57.39435526
50		0	0	0					47	59.7098464	35.9135458	20.957423	24.386636	31.025266	59.70984643	59.70984643
51		0	0	0					48	62.1202918	37.0903681	21.54523	25.069926	31.993892	62.12029184	62.12029184
52		0	0	0					49	64.6324097	38.2972819	22.141903	25.819644	32.983977	64.6324097	64.6324097
53		0	0	0					50	67.2535673	39.5357372	22.747737	26.555249	33.99645	67.25356734	67.25356734
54		0	0	0					51	69.9918616	40.8072792	23.363045	27.30422	35.032296	69.99186157	69.99186157
55		0	0	0					52	72.8562112	42.1135553	23.988149	28.067062	36.092559	72.85621118	72.85621118
56		0	0	0					53	75.8564641	43.4563242	24.623391	28.844306	37.178344	75.85646407	75.85646407
57		0	0	0					54	79.0035214	44.8374057	25.209124	29.63051	38.290826	79.00352143	79.00352143
58		0	0	0					55	82.3094824	46.2589906	25.925722	30.44426	39.431253	82.30948242	82.30948242
59		0	0	0					56	85.7878134	47.7230528	26.593575	31.268176	40.60095	85.78781343	85.78781343
60		0	0	0					57	89.4535468	49.2319622	27.273091	32.108907	41.801328	89.45354683	89.45354683
61		0	0	0					58	93.3235154	50.7881989	27.9647	32.967141	43.033893	93.32351539	93.32351539
62		0	0	0					59	97.4166302	52.3944296	28.668852	33.843603	44.300247	97.41663022	97.41663022
63		0	0	0					60	101.754212	54.0535249	29.386019	34.739059	45.602103	101.7542117	101.7542117
64		0	0	0					61	106.360386	55.7685795	30.1167	35.654316	46.94129	106.360386	106.360386
65		0	0	0					62	111.262562	57.5429345	30.861417	36.59023	48.319765	111.2625621	111.2625621
66		0	0	0					63	116.49201	59.3802026	31.62072	37.547708	49.739627	116.49201	116.49201
67		0	0	0					64	122.084566	61.2842958	32.395187	38.527707	51.203122	122.0845657	122.0845657
68		0	0	0					65	128.081496	63.2594573	33.18543	39.531244	52.712667	128.0814959	128.0814959
69		0	0	0					66	134.530568	65.3102974	33.992092	40.559399	54.270858	134.5305676	134.5305676
70		0	0	0					67	141.487381	67.4418431	34.815851	41.613318	55.88049	141.4873806	141.4873806
71		0	0	0					68	149.017042	69.6595389	35.657425	42.694218	57.544576	149.017042	149.017042
72		0	0	0					69	157.196289	71.9693896	36.517571	43.803396	59.266371	157.1962892	157.1962892
73		0	0	0					70	166.116209	74.3779298	37.397089	44.942232	61.049391	166.1162091	166.1162091
74		0	0	0					71	175.885757	76.892338	38.296829	46.112198	62.897449	175.885757	175.885757
75		0	0	0					72	186.636365	79.5205061	39.217687	47.314865	64.814675	186.6363654	186.6363654
76		0	0	0					73	198.528057	82.2711303	40.160617	48.551912	66.805562	198.5280567	198.5280567
77		0	0	0					74	211.757667	85.1538167	41.126627	49.825134	68.874998		





ნახ. 39. გზის სეგმენტი ΔS-ის ანგარიში სამოსამსახურეო დამუხრუ-  
ჭების დროს სიჩქარის სეგმენტის  $\Delta V=1\text{კმ/სთ}$  პიჯით



ნახ. 40. გზის სეგმენტი ΔS-ის ანგარიში ექსტრემალური დამუხრუჭების დროს სიჩქარის სეგმენტის  $\Delta V=1\text{კმ/სთ}$  ბიჯით



	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE
458			ქმობი % 0	-4.3	-12	-9.4	-6	0
459			ქმობის სიგრძე (მ) მი 1060	2500	1900	3000	1900	900
460			$V_a$ (კმ/სთ) $V$ (კმ/სთ)					
461	89	90	501.243551	265.227942	70.95018	94.265344	165.29803	501.2435514
462	88	89	496.780669	261.947098	70.134707	93.171975	163.32779	496.7806693
463	87	88	492.295743	258.674603	69.319792	92.0796	161.36067	492.2957431
464	86	87	487.788665	255.41041	68.505434	90.988215	159.39668	487.7886648
465	85	86	483.259326	252.154472	67.691631	89.897818	157.4358	483.2593259
466	84	85	478.707617	248.906744	66.878381	88.808404	155.47801	478.707617
467	83	84	474.133428	245.667179	66.065683	87.719971	153.52329	474.1334281
468	82	83	469.536648	242.435732	65.253535	86.632516	151.57165	469.5366484
469	81	82	464.917166	239.212357	64.441936	85.546035	149.62306	464.9171664
470	80	81	460.27487	235.997011	63.630883	84.460526	147.67752	460.2748698
471	79	80	455.609646	232.789649	62.820376	83.375984	145.735	455.6096458
472	78	79	450.92138	229.590226	62.010412	82.292407	143.7955	450.9213805
473	77	78	446.209959	226.398698	61.20099	81.209793	141.859	446.2099594
474	76	77	441.475267	223.215023	60.392108	80.128136	139.92549	441.4752674
475	75	76	436.717189	220.039157	59.583765	79.047436	137.99497	436.7171885
476	74	75	431.935606	216.871058	58.775959	77.967687	136.0674	431.9356058
477	73	74	427.130402	213.710682	57.96869	76.888888	134.1428	427.1304018
478	72	73	422.301458	210.557987	57.161954	75.811035	132.22113	422.3014582
479	71	72	417.448656	207.412932	56.35575	74.734126	130.30239	417.4486559
480	70	71	412.571875	204.275476	55.550078	73.658156	128.38657	412.5718748

ნახ. 41. გზის სეგმენტი  $\Delta S$ -ის ანგარიში თავისუფალი გორგის დროს  
სიჩქარის სეგმენტის  $\Delta V=1\text{კმ/სთ}$  ბიჯით





	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	
97			ქანობა % 0	-4.3	-12	-9.4	-6	0	0
98			პარამეტრები 1060	2500	1900	3000	1900	900	0
99			$V_0$ (კმ/სთ) $V$ (კმ/სთ) $\Delta S$						
100	90	89	0.000457171	0.0004954	0.001338	0.000944	0.000681	0.00046	0
101	89	88	0.000455986	0.0004938	0.001328	0.0009389	0.000679	0.00046	0
102	88	87	0.000454785	0.0004921	0.001318	0.0009339	0.000676	0.00045	0
103	87	86	0.000453567	0.0004903	0.001308	0.0009287	0.000674	0.00045	0
104	86	85	0.000452332	0.0004886	0.001297	0.0009236	0.000671	0.00045	0
105	85	84	0.000451079	0.0004868	0.001287	0.0009184	0.000668	0.00045	0
106	84	83	0.000449808	0.0004851	0.001277	0.0009131	0.000665	0.00045	0
107	83	82	0.000448519	0.0004832	0.001267	0.0009078	0.000662	0.00045	0
108	82	81	0.00044721	0.0004814	0.001256	0.0009025	0.00066	0.00045	0
109	81	80	0.000445883	0.0004796	0.001246	0.0008971	0.000657	0.00045	0
110	80	79	0.000444536	0.0004777	0.001235	0.0008916	0.000654	0.00044	0
111	79	78	0.000443169	0.0004758	0.001225	0.0008862	0.000651	0.00044	0
112	78	77	0.000441781	0.0004738	0.001214	0.0008806	0.000648	0.00044	0
113	77	76	0.000440372	0.0004719	0.001204	0.000875	0.000645	0.00044	0
114	76	75	0.000438942	0.0004699	0.001193	0.0008694	0.000642	0.00044	0
115	75	74	0.00043749	0.0004679	0.001182	0.0008637	0.000639	0.00044	0
116	74	73	0.000436015	0.0004659	0.001172	0.000858	0.000636	0.00044	0
117	73	72	0.000434517	0.0004638	0.001161	0.0008522	0.000632	0.00043	0
118	72	71	0.000432996	0.0004617	0.00115	0.0008464	0.000629	0.00043	0
119	71	70	0.00043145	0.0004596	0.001139	0.0008405	0.000626	0.00043	0
120	70	69	0.00042988	0.0004574	0.001128	0.0008346	0.000623	0.00043	0
121	69	68	0.000428285	0.0004553	0.001117	0.0008286	0.000619	0.00043	0
122	68	67	0.000426663	0.000453	0.001106	0.0008225	0.000616	0.00043	0
123	67	66	0.000425015	0.0004508	0.001095	0.0008164	0.000612	0.00043	0
124	66	65	0.00042334	0.0004485	0.001084	0.0008103	0.000609	0.00042	0
125	65	64	0.000421637	0.0004462	0.001073	0.000804	0.000605	0.00042	0
126	64	63	0.000419905	0.0004439	0.001062	0.0007978	0.000602	0.00042	0
127	63	62	0.000418144	0.0004415	0.001051	0.0007914	0.000598	0.00042	0
128	62	61	0.000416352	0.0004391	0.00104	0.000785	0.000595	0.00042	0
129	61	60	0.00041453	0.0004367	0.001028	0.0007786	0.000591	0.00041	0
130	60	59	0.000412677	0.0004342	0.001017	0.0007721	0.000587	0.00041	0
131	59	58	0.00041079	0.0004317	0.001006	0.0007655	0.000583	0.00041	0

ნახ. 43.  $\Delta t$  დროის სეგმენტის ანგარიში სამოსამსახურეო დამუხრუჭების დროს სიჩქარის სეგმენტის  $\Delta V=1$  კმ/სთ ბიჯით



	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	
303			განზომილება 0	-4.3	-12	-9.4	-6	0	0
304			განზომილება 1060	2500	1900	3000	1900	900	0
305			$v_0$ (კმ/სთ) $v$ (კმ/სთ) $\Delta S$						
306	90	89	5.20776E-05	5.3301E-05	0.000247	5.483E-05	5.38E-05	5.21E-05	5.21E-05
307	89	88	5.2163E-05	5.3388E-05	0.000247	5.492E-05	5.39E-05	5.22E-05	5.22E-05
308	88	87	5.22501E-05	5.3478E-05	0.000247	5.501E-05	5.4E-05	5.23E-05	5.23E-05
309	87	86	5.23391E-05	5.3569E-05	0.000247	5.511E-05	5.41E-05	5.23E-05	5.23E-05
310	86	85	5.24299E-05	5.3663E-05	0.000247	5.52E-05	5.42E-05	5.24E-05	5.24E-05
311	85	84	5.25227E-05	5.3758E-05	0.000247	5.53E-05	5.43E-05	5.25E-05	5.25E-05
312	84	83	5.26175E-05	5.3856E-05	0.000247	5.54E-05	5.44E-05	5.26E-05	5.26E-05
313	83	82	5.27144E-05	5.3955E-05	0.000247	5.551E-05	5.45E-05	5.27E-05	5.27E-05
314	82	81	5.28134E-05	5.4057E-05	0.000247	5.561E-05	5.46E-05	5.28E-05	5.28E-05
315	81	80	5.29147E-05	5.4161E-05	0.000247	5.572E-05	5.47E-05	5.29E-05	5.29E-05
316	80	79	5.30182E-05	5.4268E-05	0.000248	5.583E-05	5.48E-05	5.3E-05	5.3E-05
317	79	78	5.31241E-05	5.4377E-05	0.000248	5.594E-05	5.49E-05	5.31E-05	5.31E-05
318	78	77	5.32325E-05	5.4488E-05	0.000248	5.606E-05	5.5E-05	5.32E-05	5.32E-05
319	77	76	5.33434E-05	5.4602E-05	0.000248	5.617E-05	5.51E-05	5.33E-05	5.33E-05
320	76	75	5.34569E-05	5.4719E-05	0.000248	5.63E-05	5.52E-05	5.35E-05	5.35E-05
321	75	74	5.35732E-05	5.4838E-05	0.000248	5.642E-05	5.54E-05	5.36E-05	5.36E-05
322	74	73	5.36922E-05	5.4961E-05	0.000248	5.655E-05	5.55E-05	5.37E-05	5.37E-05
323	73	72	5.38142E-05	5.5087E-05	0.000248	5.668E-05	5.56E-05	5.38E-05	5.38E-05
324	72	71	5.39393E-05	5.5215E-05	0.000249	5.681E-05	5.57E-05	5.39E-05	5.39E-05
325	71	70	5.40675E-05	5.5347E-05	0.000249	5.695E-05	5.59E-05	5.41E-05	5.41E-05
326	70	69	5.4199E-05	5.5482E-05	0.000249	5.709E-05	5.6E-05	5.42E-05	5.42E-05
327	69	68	5.43338E-05	5.5621E-05	0.000249	5.723E-05	5.61E-05	5.43E-05	5.43E-05
328	68	67	5.44722E-05	5.5764E-05	0.000249	5.738E-05	5.63E-05	5.45E-05	5.45E-05
329	67	66	5.46143E-05	5.591E-05	0.000249	5.753E-05	5.64E-05	5.46E-05	5.46E-05
330	66	65	5.47602E-05	5.606E-05	0.000249	5.768E-05	5.66E-05	5.48E-05	5.48E-05
331	65	64	5.49101E-05	5.6214E-05	0.00025	5.784E-05	5.67E-05	5.49E-05	5.49E-05
332	64	63	5.50641E-05	5.6373E-05	0.00025	5.801E-05	5.69E-05	5.51E-05	5.51E-05
333	63	62	5.52225E-05	5.6536E-05	0.00025	5.818E-05	5.71E-05	5.52E-05	5.52E-05
334	62	61	5.53853E-05	5.6704E-05	0.00025	5.835E-05	5.72E-05	5.54E-05	5.54E-05
335	61	60	5.55528E-05	5.6876E-05	0.00025	5.853E-05	5.74E-05	5.56E-05	5.56E-05
336	60	59	5.57253E-05	5.7054E-05	0.00025	5.871E-05	5.76E-05	5.57E-05	5.57E-05

ნახ. 44.  $\Delta t$  დროის სეგმენტის ანგარიში ექსტრემალური დამუხრუჭების დროს სეგმენტის  $\Delta V=1$  კმ/სთ ბიჯით

	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA
430			ქანობა % 0	-4.3	-12	-9.4	-6	0
431			გაზრდა 1060	2500	1900	3000	1900	900
432			$V_0$ (კმ/სთ) $V$ (კმ/სთ) $\Delta S$					
433	90	89	0.005600499	0.00296344	0.0007927	0.0009894	0.0123688	0.0056
434	89	88	0.005613353	0.00295985	0.0007553	0.0009897	0.0123673	0.005613
435	88	87	0.005626249	0.00295628	0.0007555	0.00099	0.0123658	0.005626
436	87	86	0.005639188	0.00295272	0.0007557	0.0009903	0.0123643	0.005639
437	86	85	0.005652169	0.00294917	0.0007559	0.0009906	0.0123628	0.005652
438	85	84	0.005665192	0.00294564	0.0007561	0.0009909	0.0123613	0.005665
439	84	83	0.005678258	0.00294212	0.0007563	0.0009912	0.0123598	0.005678
440	83	82	0.005691367	0.00293861	0.0007565	0.0009915	0.0123582	0.005691
441	82	81	0.005704519	0.00293512	0.0007567	0.0009919	0.0123567	0.005705
442	81	80	0.005717714	0.00293164	0.0007568	0.0009922	0.0123552	0.005718
443	80	79	0.005730953	0.00292817	0.000757	0.0009925	0.0123537	0.005731
444	79	78	0.005744236	0.00292471	0.0007572	0.0009928	0.0123522	0.005744
445	78	77	0.005757562	0.00292127	0.0007574	0.0009931	0.0123507	0.005758
446	77	76	0.005770933	0.00291784	0.0007576	0.0009934	0.0123492	0.005771
447	76	75	0.005784348	0.00291442	0.0007578	0.0009937	0.0123477	0.005784
448	75	74	0.005797808	0.00291102	0.000758	0.000994	0.0123462	0.005798
449	74	73	0.005811313	0.00290762	0.0007582	0.0009943	0.0123447	0.005811
450	73	72	0.005824863	0.00290424	0.0007584	0.0009946	0.0123432	0.005825
451	72	71	0.005838459	0.00290088	0.0007585	0.0009949	0.0123417	0.005838
452	71	70	0.005852099	0.00289752	0.0007587	0.0009952	0.0123402	0.005852
453	70	69	0.005865786	0.00289418	0.0007589	0.0009955	0.0123387	0.005866
454	69	68	0.005879519	0.00289085	0.0007591	0.0009958	0.0123372	0.00588
455	68	67	0.005893298	0.00288753	0.0007593	0.0009961	0.0123357	0.005893
456	67	66	0.005907123	0.00288422	0.0007595	0.0009964	0.0123342	0.005907
457	66	65	0.005920995	0.00288092	0.0007597	0.0009968	0.0123327	0.005921
458	65	64	0.005934914	0.00287764	0.0007599	0.0009971	0.0123312	0.005935
459	64	63	0.005948881	0.00287437	0.00076	0.0009974	0.0123297	0.005949

ნახ. 45.  $\Delta t$  დროის სეგმენტის ანგარიში თავისუფალი გორვის დროს სეგმენტის  $\Delta V=1\text{კმ/სთ}$  ბიჯით

$v(s)$  სიჩქარის მრუდი აიგება ე.წ. ინტეგრაციის მეთოდის გამოყენებით, ტერმინი ინტეგრაცია პროგრამირებაში მონაცემთა დამუშავების ისეთი



ფორმით ორგანიზებაა, რომლის დროსაც მრავალჯერადად მეორდება პროცესი ისე, რომ ამ დროს საკუთარი თავის გამოძახება არ ხორციელდება, როცა რაღაც მოქმედება აუცილებელია გამეორდეს, პროგრამაში გამოიყენება ციკლი მაგ. თუ საჭიროა 200-ჯერ გამეორდეს ეკრანზე “welcome” ერთი და იგივე კომენტარის 200-ჯერ გამეორების მაგივრად იქმნება ციკლი, რომელიც მეორდება 200-ჯერ და სრულდება ის მოქმედება, რაც ციკლის სხეულშია ჩაწერილი, ციკლის ერთი ბიჯი იწოდება იტერაციად.

ჩვენს შემთხვევაში მოძრაობის მრუდების ანგარიშები იტერაციის გამოყენებით ხორციელდება შემდეგნაირად: წინასწარ ჩატარებული ანგარიშის შედეგად გვაქვს წევის, გორვის, სამოსამსახურეო და ექსტრემალური დამუხრუჭების,  $\Delta S$  და  $\Delta t$  დაანგარიშებული სახით  $V_0$  და  $V$  სიჩქარის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის, ის განთავსებულია პროგრამა Excel 2007 სვეტებად, რომლებიც ორგანიზებულია შესაბამისი  $i$  ქანობის (%) და მისი  $S$  გავრცელების (მ). ცხრილის სახით მიღებული შედეგების სწორი არჩევით შესაბამისი რეჟიმებისთვის აიგება  $v(s)$  მრუდი და აღნიშნული დამოკიდებულების აგების დასასრულს განისაზღვრება მოძრაობის დროის მნიშვნელობა ( $\tau$ )–ში.

$v(s)$  დამოკიდებულების აგების და  $v(t)$  ანგარიშის პროცედურის განსახორციელებლად აუცილებელია გამოვიყენოთ ჯერ ღილაკი “გასუფთავება”, შემდგომ ღილაკი “პროცესის დაწყება”  $S$  გავლილი მანძილის და მოძრაობის  $t$  დროის მნიშვნელობების სხვადასხვა შესაბამისი გზის პროფილისათვის განსაზღვრული სახით ინახება ცხრილის ბიბლიოთეკაში Sheet1 “გავლილი მანძილი” და Sheet2 “მოძრაობის დრო”. მატარებლის მოძრაობის რეჟიმების მართვა ხორციელდება ეკრანზე განთავსებულ ვირტუალურ ღილაკზე ოპერატორის მიერ შესაბამისი რეჟიმის (Click) არჩევით. აღნიშნული ღილაკები დაკავშირებულია მათზე მითითებული მატარებლის მოძრაობის რეჟიმის შესაბამის ცხრილებთან, საიდანაც შესაბამისი  $i$  ქანობის დროს  $[v_0 \ v]$  მოძრაობის სიჩქარისათვის აიღება  $\Delta S$  მანძილის  $\Delta t$  დროის მნიშვნელობები.

ნახ. 46-ზე ნაჩვენებია  $v(s)$  დამოკიდებულების აგება. მატარებლის მოძრაობის რეჟიმების მართვა ხდება მოძრაობის რეჟიმების შესაბამისი

ვირტუალური ღილაკების გამოყენებით. ვირტუალურ ღილაკზე “პროცესის დაწყება” “Click”-ით ეკრანზე გრაფიკულად მოიცემა გზის მუშა პროფილი (მრუდი 1), რომელზეც წარმოებს მატარებლის შემდგომი მოძრაობა მოცემული მიმართულებით. აღნიშნულის ვიზუალიზაცია ეხმარება ოპერატორს გზის პროფილის ელემენტის გათვალისწინებით მარტივი “Click”-ის მეშვეობით აირჩიოს მოძრაობის შესაბამისი (წვევა, თავისუფალი გორვა, სამოსამსახურეო ან ექსტრემალური დამუხრუჭება) რეჟიმი.  $v(s)$  დამოკიდებულება (მრუდი 2) აიგება ვირტუალურ ღილაკებზე ოპერატორის მანიპულაციებით. აგების ოპტიმიზაციისათვის ოპერატორს, რომ არ მოუწიოს ყოველი  $h=1$  კმ/სთ ბიჯით მიღებული  $\Delta S$  და  $\Delta t$  მნიშვნელობებით გრაფიკული ასახვისათვის “Click”-ის გაკეთება გონივრულია მოხდეს რამდენიმე მნიშვნელობის  $\Delta S$  და  $\Delta t$  შეკრება და მისი ერთ “Click”-ში მოქცევა. აღნიშნული ისე უნდა განხორციელდეს, რომ “Click”-ის ბიჯი იყოს ოპტიმალური და ოპერატორს აძლევდეს იმის საშუალებას აკონტროლოს მოძრაობის მრუდის აგების პროცესი. ჩვენს შემთხვევაში გამოიყენება “Click”-ის  $h=5$  კმ/სთ-ის ბიჯი, რაც ნიშნავს იმას, რომ რომელიმე მოძრაობის რეჟიმის შესაბამის ვირტუალურ ღილაკზე ერთი “Click”-ით ხორციელდება  $\Delta S$  და  $\Delta t$  ერთდროულად  $[v_0v]$ -ს ხუთი სიჩქარის მნიშვნელობისათვის ნაანგარიშები  $\Delta S$  და  $\Delta t$  ჯამის ერთ “Click”-ში გაერთიანება და ასეთი სახით მიღებული შედეგების გამოყენება.

ნახ. 46-ზე ნაჩვენები ვირტუალური ღილაკის “Stop 1” და “Stop 2” არჩევით ხორციელდება სადგურის ლიანდაგებში შემადგენლობის გაჩერების პროცესის მართვა (იხ. მრუდი 3). აღნიშნული დამუხრუჭების მრუდი აიგება სამოსამსახურეო დამუხრუჭების მონაცემების მეშვეობით. მრუდის ზედა შეზღუდვა ვრცელდება მატარებლის კონსტრუქციული  $v_{კონ}$  სიჩქარით. მრუდი 3-ის და მრუდი 2-ის გადაკვეთა როგორც გრაფიკული მეთოდის დროს ხდება ასრულებს  $v(s)$  დამოკიდებულების ფორმირებას. “Stop1” ღილაკის გამოყენებით მატარებელი გაჩერება წარმოებს მთავარ ლიანდაგზე. მაშინ როცა მატარებელზე ვრცელდება სიჩქარეთა შეზღუდვა ისარზე მოძრაობისას ვსარგებლობთ “Stop 2” ღილაკით.  $v_0$  და  $v$ -ის “Textbox”-ში შეგვყავს ისართან მიახლოების და მასზე უსაფრთ-

ხოდ მოძრაობის სიჩქარის მნიშვნელობები, საისრე მანძილის  $L_{ისარი}$  და  $L_{მატ.}$  მატარებლის სიგრძე (მ). აღნიშნული მოქმედება იძლევა იმის საშუალებას, რომ მოვახდინოთ მატარებლის გაჩერება პრაქტიკაში მიღებული ნებისმიერი სცენარით. რაც პროგრამის უნივერსალურობაზე და მის დადებით მხარეზე მიუთითებს.

მატარებლის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება წმინდა გრაფიკული ან გრაფო-ანალიზური სახით  $v(s)$ ,  $v(t)$  ან  $t(s)$  დამოკიდებულებების განსაზღვრას ემყარება. საზოგადოდ მიღებული გრაფიკული დამოკიდებულების გაანალიზებით ხდება საჭირო ინფორმაციის მიღება, რაც მეტად საპასუხისმგებლო და ამასთან დამღლევი პროცესია. ერთია  $v(s)$  დამოკიდებულების გრაფიკული აგება, რაც ქმნის მატარებლის მოძრაობის ვიზუალურ სურათს სხვადასხვა რეჟიმში მისი მოძრაობისას და მეორეა, როცა გეომეტრიული მანიპულაციებით აიგება  $v(t)$  ან  $t(s)$  დამოკიდებულებები იმ მიზნით, რომ შემდეგ გრაფიკულად აგებული მრუდების გაანალიზებით მივიღოთ ინფორმაცია მოძრაობის დროის შესახებ. როცა ციფრული სახით პირდაპირ შესაძლებელია საჭირო ინფორმაციის მიღება, არაა აუცილებელი  $v(t)$  ან  $t(s)$  დამოკიდებულებების აგება და ამით ნახაზის გადატვირთვა. მოძრაობის დროის შესახებ სრული ინფორმაცია პროგრამაში მოიცემა ცხრილის სახით და  $v$  სიჩქარის ბიჯის სიმცირის გამო მიზანშეწონილია განისაზღვროს (წმ.)-ში, ხოლო მოძრაობის  $v(s)$  მრუდის საბოლოო ფორმირების შემდეგ, მატარებლის მოძრაობის მთლიანი დრო განისაზღვროს (წთ.), რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 48-ზე, “H” სვეტის ბოლოში.

საზოგადოდ პროგრამა შექმნილია ერთი ფანჯრის პრინციპით, Microsoft Office Excel 2007-ის ცხრილის სხვადასხვა “Sheet”-ები ინფორმაციის გაცვლის თვალაზრისით ურთიერთდაკავშირებულია. ცხრილის “Sheet 1” სახელწოდებით “გაველილი მანძილი”-ის Textbox-ებში მოცემულობაში მონაცემების შეყვანით “Sheet 2”-ში ანგარიშისათვის საჭირო ცვლადების ინპორტი “Sheet1”-დან ხორციელდება და არაა აუცილებელი “მოძრაობის დრო”-ს გაანგარიშებისათვის ცხრილის ამ ნაწილში დამატებით შევიყვანოთ რაიმე მონაცემი.



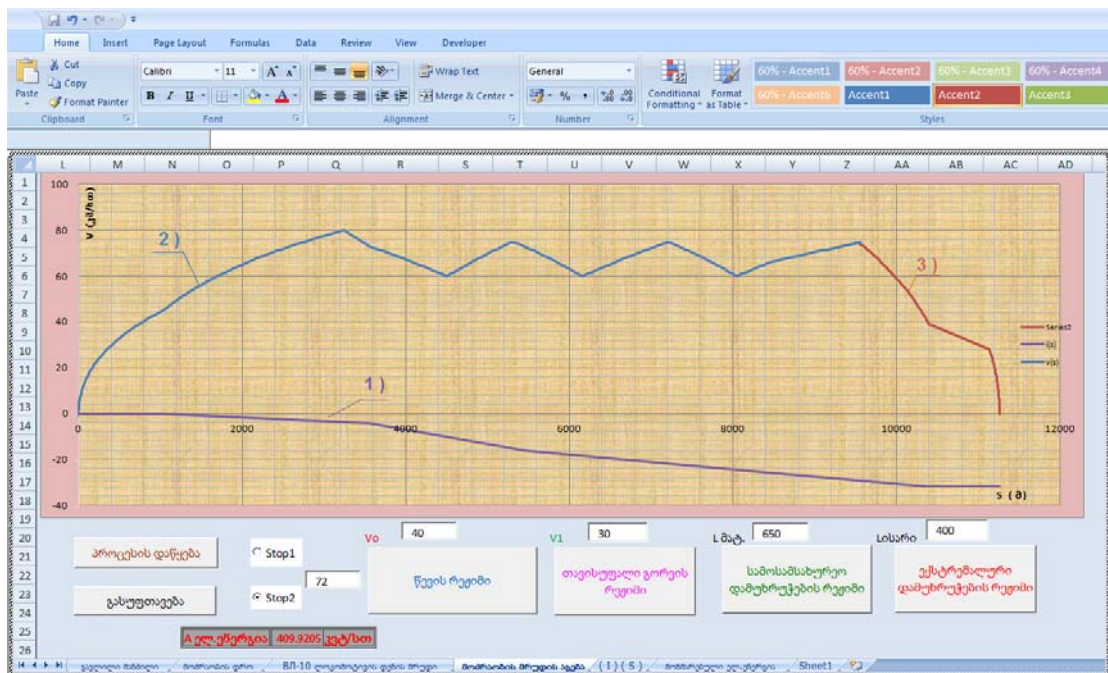
“Sheet4”-ში “მოძრაობის მრუდის აგება” ხორციელდება “Sheet 1” და “Sheet 2”-ის საშუალებით, სხვადასხვა მოძრაობის რეჟიმისათვის შექმნილი ცხრილიდან საჭირო  $\Delta S$  და  $\Delta t$  მნიშვნელობების გამოყენებით.

“Sheet5”-ში “(I)(S)” I ლოკომოტივის დენის  $S$  გავლილ მანძილზე დამოკიდებულების აგება ხორციელდება “Sheet 4”-დან (იხ. ნახ. 47 და ნახ. 48 “D” და “E” სვეტები)  $v(s)$  დამოკიდებულებისა და “Sheet 3” “БЛ-10 ლოკომოტივის დენის მრუდი”-ს “БЛ-10” ლოკომოტივის დენის მუშა მახასიათებლის გამოყენებით (იხ. ნახ. 49.) I (S) მრუდის აგება დაწვრილებითაა განხილული ნაშრომის 2.2.1. პარაგრაფში, პროგრამაში აღნიშნული მრუდის ილუსტრაცია ნაჩვენებია ნახ. 50-ზე ანალიზური სახით. მიღებული შედეგი ილუსტრირებულია ნახ. 47-ზე ცხრილის “A” და “B” სვეტებში. პროგრამაში გრაფიკული ნაწილის ცალკე Sheet-ებში განთავსება და მათი შედეგის ერთ კონკრეტულ ცხრილში თავმოყრა, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 47-ზე (იხ. “A : K” სვეტები) მეტად მოსახერხებელია წევის გაანგარიშების ჩატარების შემდეგ მონაცემების ანალიზისათვის.

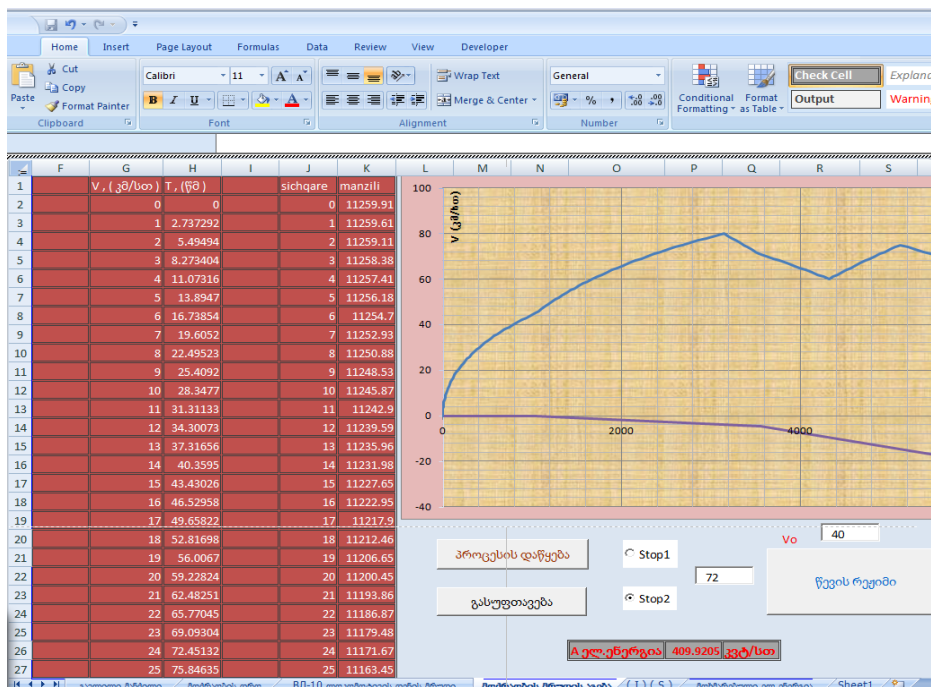
ელექტრომოძრავი შემადგენლობის მოხმარებული ელ. ენერგიის განსაზღვრა პროგრამაში ავტომატურად ხორციელდება მოძრაობის მრუდების აგების პარალელურად. ე.მ.შ. მოხმარებული ელ. ენერგიის განსაზღვრა დაწვრილებითაა განხილული 2.3. პარაგრაფში და ილუსტრირებულია ნახ. 46-ზე.

ნახ. 51-ზე ნაჩვენებია ე.გ.მ.-ის ალგორითმი, რომელიც ახასიათებს წევის გაანგარიშების წარმოებისათვის საჭირო ოპერაციების შესრულების მიმდევრობას.

ასევე მოძრაობის მრუდების აგების პარალელურად მიმდინარეობს ლოკომოტივის ძრავის გახურებაზე შემოწმების პროცესი. აღნიშნული საკითხი დაწვრილებითაა განხილული დისერტაციის პირველი თავის 2.4. პარაგრაფში. ძრავის დასაშვებზე მეტად გახურების შემთხვევაში დისპლეიზე გამოდის შესაბამისი შეტყობინება “ძრავის გახურების ტემპერატურა ცილდება ნორმებს, შეცვალე მოძრაობის რეჟიმი”. აღნიშნული შეტყობინების საფუძველზე ოპერატორის მიერ ხორციელდება შემდგომი მოძრაობის რეჟიმების კორექტირება.



ნახ. 46.  $v(s)$  მრუდის აგება და მატარებლის მოძრაობის რეჟიმების მართვა ვირტუალური ღილაკების გამოყენებით.

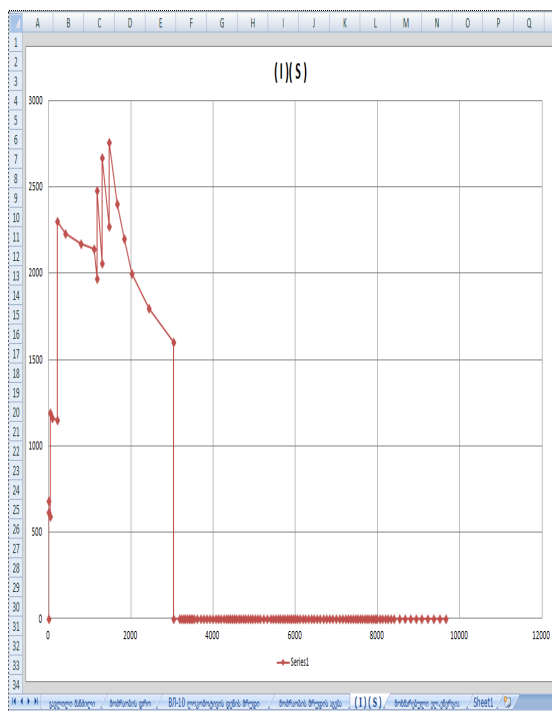


ნახ. 47.  $v(s)$  მრუდის გამოყენებით მოძრაობის მახასიათებელი სი-  
ღიდების მიღება და შედეგების ანალიზი

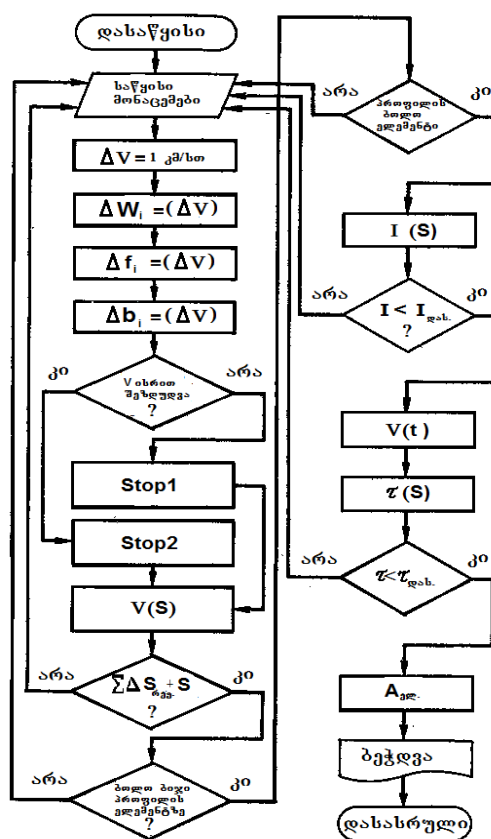
	F	G	H	I	J	K	L	M	N
149		73	484.0718		64	9871.942			
150		72	487.1398		65	9844.214			
151		71	490.1868		66	9815.95			
152		70	493.2127		67	9787.15			
153		69	496.2171		68	9757.812			
154		68	499.2		69	9727.936			
155		67	502.1611		70	9697.518			
156		66	505.1002		71	9666.559			
157		65	508.0172		72	9635.056			
158		64	510.9117						
159		63	513.7837						
160		62	516.6329						
161		61	519.4591						
162		60	522.2621						
163		61	526.0078						
164		62	529.7551						
165		63	533.5039						
166		64	537.2543						
167		65	541.0062						
168		66	544.7597						
169		67	548.5147						
170		68	561.8751						
171		69	575.2496						
172		70	588.6383						
173		71	602.0412						
174		72	615.4584						
175		Time (min)	12.65						

ნახ. 48. მატარებლის t მოძრაობის დროის განსაზღვრა (წთ)





ნახ. 50. BL-10 ლოკომოტივის  $I(S)$  მრუდი



ნახ. 51. ე.გ.მ-ზე წევის გაანგარიშების წარმოების პროგრამული და ლოგიკური მოქმედებების ალგორითმის ბლოკსქემა

### 3. დასკვნები

ნაშრომის შესრულების საფუძველზე ჩამოყალიბდა შემდეგი ძირითადი დასკვნები:

1. ნებისმიერი, მათ შორის წვეის გაანგარიშებისათვის ანალიზური ან გრაფიკული მეთოდით, ან ე.გ.მ.-ის საშუალებით შეთავაზებულია გამოვიყენოთ ძირითადი დიფ. განტოლებები ჩაწერილი ფარდობით ერთეულებში.

2. ფარდობითი ერთეულების გამოყენება საშუალებას იძლევა უარი ვთქვათ სპეციალურ ცხრილებზე გადაყვანი კოეფიციენტებისათვის და ცვლადების მასშტაბებისათვის. გაანგარიშების შედეგები, ამასთან ერთად იქნება უნივერსალური ხასიათის მოცემული გზის პროფილისათვის.

3. ძირითადი განტოლების ანალიზურად გადაწყვეტისათვის შეთავაზებულია ამაჩქარებელი ძალის მახასიათებლის აპროქსიმაცია მოვახდინოთ ერთი წილად-წრფივი ფუნქციით, რომელიც სხვა ცნობილ ფუნქციებზე უკეთ ახორციელებს ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების აპროქსიმაციას.

4. სამუხრუჭო და გორვის რეჟიმის გაანგარიშებისათვის შეთავაზებულია ამ რეჟიმის ემპირიული ფორმულები ასევე შევცვალოთ იგივე სახის წილად-წრფივი ფუნქციით.

5. ე.გ.მ.-ის გამოყენებით მოსამზადებელი სამუშაოს ჩატარების დროს გზის პროფილის ელემენტებზე გამოთვლების ცდომილების შემცირების მიზნით მიზანშეწონილია უარი ვთქვათ პროფილის ელემენტების გაერთიანებაზე.

6. ამაჩქარებელი და შემანელებელი ძალების წილად-წრფივი ფუნქციით აპროქსიმაციის შედეგად მიღებული ანალიზური გამოსახულებები საშუალებას იძლევა მაღალი სიზუსტით განვსაზღვროთ ე.გ.მ. -ზე  $\Delta S$  გზის და  $\Delta t$  მოძრაობის დროის სეგმენტური მნიშვნელობები სიჩქარის  $\Delta V=1$  კმ/სთ ბიჯით.

7. მატარებლის მოძრაობის დროის შესახებ სრული ინფორმაცია ე.გ.მ.-ის პროგრამაში შეთავაზებულია მოიცეს ცხრილის სახით და  $\Delta V=1$  კმ/სთ სიჩქარის ბიჯის სიმცირის გამო მიზანშეწონილია

განისაზღვროს (წმ.)-ში, ხოლო მოძრაობის  $v(s)$  მრუდის საბოლოო ფორმირების შემდეგ, მატარებლის მოძრაობის მთლიანი დრო განისაზღვროს (წთ.)

8. ე.გ.მ.-ზე წვეის გაანგარიშებისას შეთავაზებულია მატარებლის მოძრაობის საჭირო რეჟიმის არჩევა მოხდეს მართვის ვირტუალური დილაკების გამოყენებით, რითაც მიიღწევა გაანგარიშების პროცესების თვალსაჩინოდ წარმოება და ვიზუალიზაცია.

## ბამოყენებული ლიტერატურა

- 1.Осипов С.И. Основы электрической и тепловозной тяги. Москва.: Транспорт, 1985. 7-174-204-209 с.
- 2.Френкель С.Я. - Техნიკა тяговых расчетов. Гомель 2005. 4-55 с.
3. Осипов С. И., Осипов С. С. Основы тяги поездов. – М.: УМК МПС России, 2000. – 249-252-292-297-319 с.
- 4.Теория электрической тяги/В. В. Розенфельд и др. Под ред. И. П. Исаева. – М.: Транспорт, 1995. – 9 с.
5. Ломоносов Ю.В. Тяговые расчеты – Одесса. Южно-Российское общество печатного дела, 2-е изд. 1915 - 295 с.
6. Кузьмич В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Название: Теория локомотивной тяги. Издательство: Маршрут: 2005, 299-315.
7. Розенфельд В.Е., Чеботарев Е.В.Сидоров. Н.Н. Основы электрической тяги. М.: Транспорт, 1983, 328 с.
8. Супруненко П.М. Общая теория тяги поездов. - М .Л.: ОГИЗ, ГосТрансиздат, 1932 - 426 с.
9. Чалыгин С.А. Новый метод приближенного интегрирования дифференциальных уравнений. М.-Л.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950, 52 с.
10. Лебедев А. Б, Основы электрической тяги, ОНТИ, 1937. 48-502 с.
11. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. 287 с.
12. Крылов А.Н. Лекции о приближенных вычислениях. М., Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957, 401 с.
13. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. М., Наука, 1967, 368 с.
- 14.Астахов П.Н. Сопротивление движению железнодорожного подвижного состава. Труды ЦНИИ МПС, выпуск 311. М.: транспорт, 1966.- 73 с.
- 15.Деев В.В., Ильин Г.А., Афонин Г.С. Тяга поездов. Учебное пособие для вузов М.: Транспорт, 1978.- 264 с.
16. Тяговые расчеты на участке заданного профиля, Ростовский государственный университет путей сообщения. Ростов-на-Дону, 2008 г., 14с.
17. Теоретические основы разработки рациональных режимов вождения поездов и расчета масс составов. М.П.С. Р.Ф. Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, 37 с.
18. Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава: Справочник/В. И. Крылов, В. В. Крылов, В. Н. Ефремов, П. Т. Демушкин. – М.: Транспорт, 1989. – 487 с.
19. Бабичков А.М., Гурский П.А., Новиков А.П. Тяга поездов и тяговые расчеты. Транспорт, 1971 – 179-187 с.



20. Бабичков А.М., Егорченко В.Ф. Тяга поездов, теория расчеты испытаний Трансжелдор. издат, 1947-407 с.
21. Бабичков А.М. Егорченко В.Ф. Тяга поездов и применение специализированных вычислительных машин для тяговых расчетных машин, 4-ое издание. перераб. и доп. Трансжелдор. издат, 1962, -263 с.
22. Бабичков А.М., Егорченко В.Ф. Тяга поездов ГТЖИ, Москва, 1962, 412 с.
23. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. Мир, 1968, 20 с.
24. Андропов А. А., Винт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний, м., ФМЛ, 1959, 395 с.
25. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. Изд. 2, перераб. 1987. Твердый переплет. 59 с.
26. Каннигхем В. Введение в теорию нелинейных систем. М., Гозэнергоиздат, 1962, 62с.
27. Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н. Электрическая тяга транс., Ж., Н., 1983,331с.
28. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Скворцова А.И. Тяговые расчеты: Справочник/Под ред. П. Т. Гребенюка. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
29. Карипидис С., Трапаидзе Л., Канкадзе П., Маглакелидзе Т., Азикури А. Некоторые соображения по усовершенствованию тяговых расчетов. ჟურნალი ტრანსპორტი, 2007, №1 (25), თბილისი გვ. 3-10.
30. Ломоносов Ю.В. Тяговые расчеты М.: 1992, 356 с.
31. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad. Учебный курс, издатель. дом Питер 2005, 193 с.
32. Васильков Ю.В., Василькова Н.Н. — Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании, Москва: “Финансы и статистика”, 2002, 40 с.
33. ს. კარიპიდისი, თ. მაღლაკელიძე, პ. ბარბაქაძე, ა. მაღლაკელიძე. “მოტორ-გენერატორულ სისტემაში მიმდევრობითი და შერეული აღგზნების გენერატორის ავტორეგულირების შესახებ, « ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა »თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი - №2(10) 2008, 18-29გვ.
34. С. Карипидис, Т. Маглакелидзе, П. Барбакадзе, Д. Саникидзе, Ю.Схиртладзе. “Применение методов фазовой плоскости для исследования различных режимов работы тяговых ташин последовательного возбуждения”. «Транспорт и машиностроение» Научно-технический журнал. №4 (12) 2008. с 48-66.
35. С. Карипедис, Ш. Хурцилава, ДЖ. Саникидзе, Ю. Схиртладзе, П. Барбакадзе. “Статический преобразователь для питания обмоток возбуждения Тяговых двигателей электравозов постоянного тока и цепей управления”. Транспорт. Научно-технический журнал. «Транспорт». 2008 г. №3-4 (31-32). с 3-7.

36. С. Карипедис, Ш. Хурцилава, ДЖ. Саникидзе, Ю. Схиртладзе, П. Барбакадзе. “Статический преобразователь для Вспомогательных цепей и прочих нагрузок электропоездов постоянного тока”. Транспорт. Научно-технический журнал. «Транспорт». 2008 г. №3-4 (31-32). с 7-11.
37. С. Карипедис, Т.Маглакелидзе П.Барбакадзе. “Метод расчета величины эквивалентного активного сопротивления контура вихревых токов тяговых машин постоянного тока”. Научно-технический журнал. «Транспорт». 2010 г. №3-4 (39-40). с 13-18.